



**МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКИХ
РАБОТ ПО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ «ЭЛЕКТРОТЕХНИКА»**

для специальности

13.02.11 Техническая эксплуатация и обслуживание электрического и
электромеханического оборудования

Методические рекомендации по выполнению практических работ по учебной дисциплине
«Электротехника» для специальности *13.02.11 Техническая эксплуатация и обслуживание
электрического и электромеханического оборудования/*

Рассмотрено на заседании ЦМК
общепрофессиональных дисциплин

Протокол № _____
« _____ » _____ 2019 г.

Председатель ЦМК
_____ Л.В.Петлина

Одобрено и рекомендовано к
использованию
методическим советом техникума

« _____ » _____ 20__ г.

Зам. директора по УМР
_____ Е.А.Метелькова

Разработал: Дементьева О.К., преподаватель ОГБПОУ «ТПТ»

СОДЕРЖАНИЕ

Пояснительная записка.....	4
Практическая работа № 1	
Расчёт электростатической цепи с конденсаторами	5
Практическая работа № 2	
Расчёт электрической цепи методом узловых и контурных уравнений	7
Практическая работа № 3	
Расчёт электрической цепи методом «свёртывания»	9
Практическая работа № 4	
Расчёт электрической цепи методом преобразования звезды и треугольника	12
Практическая работа № 5	
Расчёт электрической цепи методом узлового напряжения и методом контурных токов	14
Практическая работа № 6	
Расчёт электрической цепи методом наложения	16
Практическая работа № 7	
Расчёт электрической цепи с нелинейными элементами	18
Практическая работа № 8	
Расчет магнитного поля провода с током и магнитного поля катушки	20
Практическая работа № 9	
Расчёт неразветвленной магнитной цепи	22
Практическая работа № 10	
Расчет неразветвленной цепи переменного тока с реальной катушкой и реальным конденсатором	26
Практическая работа № 11	
Расчет неразветвленной цепи переменного тока с R, L, C	28
Практическая работа № 12	
Расчёт разветвлённой цепи с R, L и C методом проводимостей	30
Практическая работа № 13	
Расчёт электрических цепей переменного тока символическим методом	32
Практическая работа № 14	
Расчёт сложных электрических цепей переменного тока символическим методом	34
Практическая работа № 15	
Расчёт несимметричного режима трёхфазной цепи, соединенной звездой, с нейтральным проводом	36
Практическая работа № 16	
Расчёт несимметричного режима трёхфазной цепи, соединенной звездой, без нейтрального провода	38
Практическая работа № 17	
Расчёт несимметричного режима трёхфазной цепи, соединенной треугольником	40
Практическая работа № 18	
Урок-конкурс	42
Практическая работа № 19	
Расчет тока и мощности в цепи с несинусоидальным периодическим напряжением	43
Практическая работа № 20	
Расчёт переходных процессов в цепях постоянного тока	45
Используемые источники	47
Приложение 1. Характеристики намагничивания сталей	48

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Методические рекомендации по выполнению практических работ (МР) по учебной дисциплине «Электротехника» (МР) предназначены для студентов второго курса специальности 13.02.11 Техническая эксплуатация и обслуживание электрического и электромеханического оборудования. МР также могут быть использованы преподавателями учебной дисциплины «Электротехника» при организации практических работ по электротехнике.

Выполнение практических работ, содержащихся в методических рекомендациях, способствует формированию у студентов компетенций, предусмотренных ФГОС специальности 13.02.11.

МР выступают средством формирования у обучающихся умений:

- производить расчёты параметров электрических и магнитных цепей; знаний:
- основных законов электротехники;
- характеристик и параметров электрических и магнитных цепей;
- методов расчета основных параметров электрических и магнитных цепей.

Методические рекомендации являются структурированным сборником, содержащим двадцать практических работ по основным разделам электротехники. Структура практической работы включает следующие позиции:

- 1) цель работы;
- 2) обеспечивающие средства;
- 3) рекомендованную литературу;
- 4) текст задания;
- 5) технологию выполнения практической работы;
- 6) требования к отчету;
- 7) контрольные вопросы.

Теоретическая подготовка к практическим работам осуществляется заранее по конспектам лекций и разделам учебников, указанным в *п.3. Рекомендованная литература*; для самоконтроля подготовки приводятся контрольные вопросы. Защита работы – в виде устных ответов на контрольные вопросы.

При выполнении практической части задания следует действовать в последовательности, рекомендуемой *п.5. Технология работы*.

При оформлении отчёта по практической работе необходимо соблюдать следующие требования:

- указать номер практической работы;
- тему работы;
- номер варианта;
- исходные данные записать в краткой форме;
- привести схему электрической (магнитной) цепи;
- все расчёты начинать с записи формул в общем виде;
- использовать единицы измерения в системе СИ;
- графические построения (схемы, графики, векторные диаграммы) выполнять с применением чертёжных инструментов;
- оформить ответ.

Методические рекомендации повысят эффективность организации самостоятельной работы студентов при выполнении практических работ по курсу «Электротехника».

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 1

2 часа

РАСЧЁТ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ С КОНДЕНСАТОРАМИ

1. Цель работы

Приобретение практических навыков расчета электростатических цепей с конденсаторами.

2. Обеспечивающие средства

- 2.1. Методические указания по выполнению практической работы;
- 2.2. Калькуляторы.

3. Литература

- 3.1. Аполлонский С. М. Электротехника [Электронный ресурс]
- 3.2. Л.И.Фуфаева «Электротехника», §§ 3.5

4. Задание

К батарее конденсаторов $C_1 - C_8$ подведено постоянное напряжение U . Определить напряжение на каждом конденсаторе $U_1, U_2...U_8$; заряд каждого конденсатора $Q_1, Q_2...Q_8$; энергию электрического поля каждого конденсатора $W_1, W_2...W_8$ и энергию конденсаторной батареи W .

Выполнить проверку соотношения $W = W_1 + W_2 + ... + W_8$.

Данные для расчетов (по вариантам) взять из таблицы 1.1.

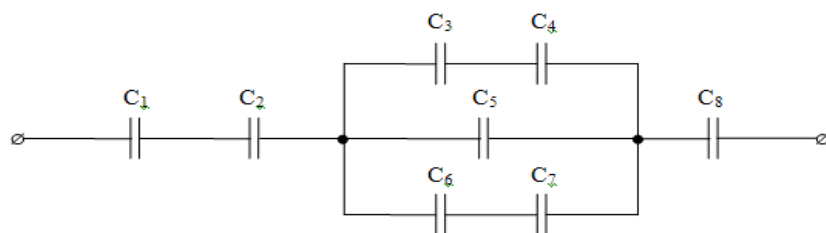


Рис. 1.1.Схема соединения конденсаторов

Таблица 1.1.

Вариант	U	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8
	В	мкФ	мкФ	мкФ	мкФ	мкФ	мкФ	мкФ	мкФ
1	100	10	-----	30	40	-----	20	-----	50
2	50	5	15	20	40	25	-----	-----	-----
3	120	-----	40	15	8	8	8	-----	60
4	140	-----	50	10	12	14	20	20	-----
5	220	-----	20	-----	5	4	20	20	10
6	240	-----	30	-----	40	-----	35	35	50
7	80	-----	25	15	20	-----	10	15	12
8	300	10	-----	20	40	40	-----	-----	35
9	60	12	-----	15	20	-----	-----	30	40
10	200	80	20	25	15	-----	25	-----	-----
11	250	-----	50	40	-----	-----	50	150	60
12	200	40	60	30	-----	-----	45	40	-----
13	400	100	200	-----	-----	30	80	120	-----
14	250	60	-----	-----	20	24	72	36	120
15	150	50	-----	18	36	-----	15	30	30

5. Технология работы

- 5.1. Записать номер работы, тему, номер варианта, в краткой форме условие задачи.
- 5.2. Изобразить схему электрической цепи в соответствии с данными своего варианта.
- 5.3. Проанализировать структуру электрической цепи, определить способы соединения элементов.
- 5.4. Определить эквивалентную ёмкость C .
- 5.5. Вычислить заряд всей батареи $Q = C \cdot U$.
- 5.6. Найти напряжение и заряд на каждом конденсаторе, используя свойства последовательного и параллельного соединений конденсаторов.
- 5.7. Вычислить энергию электрического поля каждого конденсатора и конденсаторной батареи.
- 5.8. Убедиться, что энергия электрического поля конденсаторной батареи равна сумме энергий электрического поля всех конденсаторов $W = W_1 + W_2 + \dots + W_8$.

6. Требования к отчёту

- 6.1. Схему электрической цепи выполнять с применением чертёжных инструментов.
- 6.2. Вычисления начинать с записи расчётных формул в общем виде.
- 6.3. Размеры величин указывать в системе СИ.

7. Контрольные вопросы

- 7.1. Понятие электрической ёмкости.
- 7.2. От каких параметров зависит ёмкость плоского конденсатора?
- 7.3. Последовательное соединение конденсаторов. Свойства.
- 7.4. Параллельное соединение конденсаторов. Свойства.
- 7.5. При каком способе соединения конденсаторов общая ёмкость возрастает?
- 7.6. На каком из двух конденсаторов разной ёмкости, соединённых последовательно, напряжение больше?
- 7.7. Какой из двух конденсаторов разной ёмкости, соединённых параллельно, имеет больший заряд?
- 7.8. Как изменится энергия электрического поля конденсатора, если напряжение на пластинах увеличить в 3 раза?
- 7.9. Как изменится заряд на пластинах конденсатора, если расстояние между пластинами уменьшить в 2 раза?

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 2

2 часа

РАСЧЁТ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ МЕТОДОМ УЗЛОВЫХ И КОНТУРНЫХ УРАВНЕНИЙ

1. Цель работы

Приобретение практических навыков расчёта электрической цепи постоянного тока с помощью законов Кирхгофа и составления баланса мощностей

2. Обеспечивающие средства

- 2.1. Методические указания по выполнению практической работы;
- 2.2. Калькуляторы

3. Литература

- 3.1. Аполлонский С. М. Электротехника [Электронный ресурс]
- 3.2. Л.И.Фуфаева «Электротехника», §§ 3.1

4. Задание

Для схемы, показанной на рисунке 2.1 и адаптированной к данным вашего варианта, определить токи I и мощности P на всех участках электрической цепи.

Правильность решения проверить составлением баланса мощности $\sum P_{ист} = \sum P$.

Данные для расчетов (по вариантам) взять из таблицы 2.1.

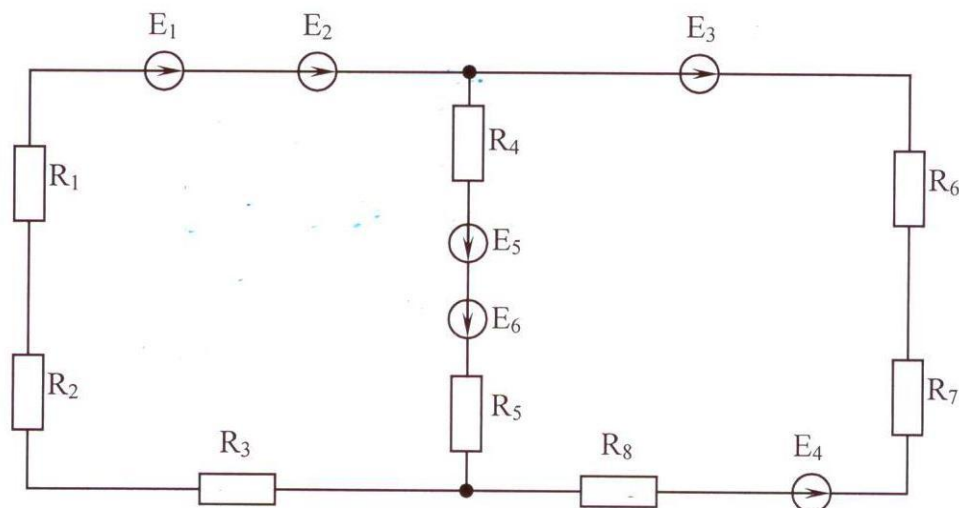


Рис. 2.1

5. Технология работы

- 5.1. Записать номер работы, тему, номер варианта, данные своего варианта.
- 5.2. Изобразить схему электрической цепи в соответствии с данными своего варианта.
- 5.3. Проанализировать структуру электрической цепи (узлы, ветви, контуры), выбрать и указать на схеме положительные направления токов в ветвях.
- 5.4. Составить систему уравнений по законам Кирхгофа.
- 5.5. Решить систему уравнений. Определить значения токов в ветвях и действительные направления токов.
- 5.6. Сделать проверку решения по первому закону Кирхгофа.
- 5.7. Вычислить мощности приёмников электрической энергии, а также мощности источников ЭДС.
- 5.8. Составить баланс мощностей, учитывая режим работы источников ЭДС (генераторный или потребителя).

6. Требования к отчёту

- 6.1. Схему электрической цепи выполнять с применением чертёжных инструментов.
- 6.2. Вычисления начинать с записи расчётных формул в общем виде.
- 6.3. Размеры величин указывать в системе СИ.

Таблица 2.1

Вари- ант	R_1	R_2	R_3	R_4	R_5	R_6	R_7	R_8	E_1	E_2	E_3	E_4	E_5	E_6
	Ом	Ом	Ом	Ом	Ом	Ом	Ом	Ом	В	В	В	В	В	В
1	----	10	----	40	----	20	----	30	100	----	----	150	200	----
2	15	----	----	20	30	----	40	----	----	80	130	----	----	200
3	20	----	8	----	10	----	----	4	150	----	300	10	50	----
4	----	6	10	20	----	5	----	----	----	100	----	60	----	80
5	15	----	----	15	----	----	10	20	----	60	70	140	----	100
6	----	10	8	40	----	20	----	----	----	50	50	100	150	----
7	20	----	----	10	10	----	15	----	----	20	70	----	----	150
8	----	10	----	24	----	6	----	----	140	----	----	70	60	----
9	----	8	10	15	----	4	----	----	----	100	----	30	----	60
10	5	----	10	----	20	----	----	6	200	----	300	50	50	----
11	----	10	15	5	----	20	----	25	----	70	60	100	140	----
12	10	----	----	40	----	30	40	50	----	100	40	60	----	80
13	20	----	25	----	30	----	----	40	60	----	100	200	250	----
14	30	----	----	5	15	----	60	----	----	100	50	----	----	60
15	4	----	----	10	----	10	15	8	----	80	60	40	----	100

7. Контрольные вопросы

- 7.1. Определение *узла* электрической цепи.
- 7.2. Определение *ветви* электрической цепи.
- 7.3. Определение *контура* электрической цепи.
- 7.4. Первый закон Кирхгофа.
- 7.5. Второй закон Кирхгофа.
- 7.6. Порядок расчета электрических цепей методом узловых и контурных уравнений.
- 7.7. Сколько уравнений по первому закону Кирхгофа следует составить при расчёте цепи методом узловых и контурных уравнений?
- 7.8. Каково общее количество уравнений в системе уравнений при расчёте электрической цепи методом узловых и контурных уравнений?
- 7.9. Как проверить правильность выполнения расчетов?

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 3

2 часа

РАСЧЁТ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ МЕТОДОМ «СВЁРТЫВАНИЯ»

1. Цель работы

Приобретение практических навыков расчёта электрической цепи постоянного тока с одним источником энергии

2. Обеспечивающие средства

2.1. Методические указания по выполнению практической работы;

2.2. Калькуляторы

3. Литература

3.1. Аполлонский С. М. Электротехника [Электронный ресурс]

3.2. Л.И.Фуфаева «Электротехника», §§ 3.2-3.3

4. Задание

К электрической цепи $R_1 - R_8$ (рис. 3.1, 3.2, 3.3) подведено постоянное напряжение U . Определить напряжение на каждом участке $U_1, U_2 \dots U_8$, силу тока $I_1, I_2 \dots I_8$, мощность всей нагрузки P и мощность на каждом участке $P_1, P_2 \dots P_8$.

Правильность решения проверить составлением баланса мощностей $P = P_1 + P_2 + \dots + P_8$.

Данные своего варианта взять из таблицы 3.1.

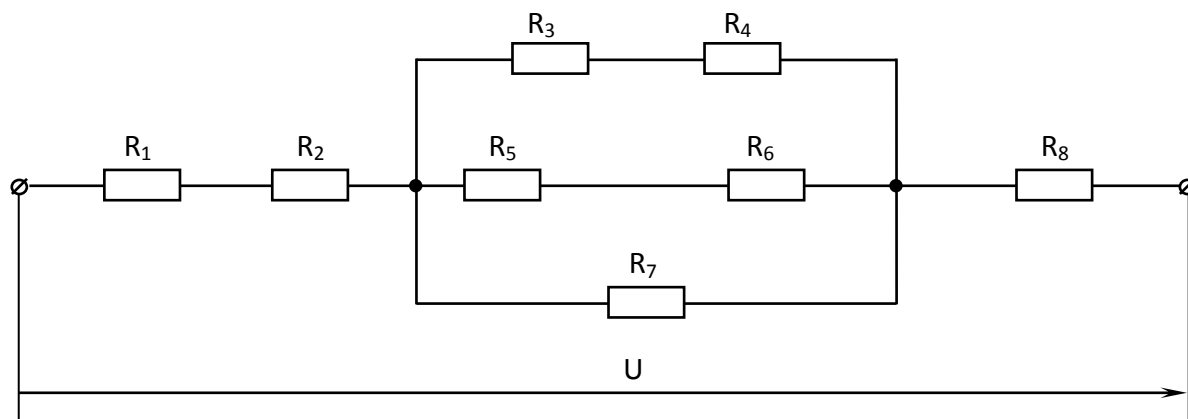


Рис. 3.1

Таблица 3.1

Вариант	Схема	U	R_1	R_2	R_3	R_4	R_5	R_6	R_7	R_8
		В	Ом	Ом	Ом	Ом	Ом	Ом	Ом	Ом
1	3.1	200	----	----	10	20	----	40	50	60
2	3.1	250	20	----	----	22	30	50	60	----
3	3.1	300	10	20	30	----	40	----	50	----
4	3.1	100	5	15	20	40	25	----	----	----
5	3.1	120	----	10	15	8	8	4	----	----
6	3.1	240	----	----	10	12	14	20	25	----
7	3.1	70	----	----	----	5	4	9	9	10
8	3.1	80	----	25	15	20	----	10	5	----
9	3.1	90	10	----	20	40	40	----	----	35
10	3.1	150	12	----	15	20	----	----	30	40
11	3.1	400	8	10	10	15	----	----	25	----
12	3.1	600	14	15	30	----	----	----	45	40
13	3.1	450	10	20	----	----	30	40	50	----
14	3.1	220	20	----	----	22	24	----	15	10

Вариант	Схема	U	R_1	R_2	R_3	R_4	R_5	R_6	R_7	R_8
		В	Ом	Ом	Ом	Ом	Ом	Ом	Ом	Ом
15	3.1	100	17	18	-----	-----	19	20	22	-----
16	3.2	110	16,7	300	100	20	80	150	140	-----
17	3.2	150	18	48	160	20	80	-----	140	-----
18	3.2	160	40	120	210	30	90	150	60	-----
19	3.2	180	145	500	250	100	200	600	300	-----
20	3.2	400	50	600	240	700	300	3000	450	-----
21	3.3	200	70	130	450	50	600	1800	-----	-----
22	3.3	240	220	80	200	15	150	150	-----	-----
23	3.3	300	90	150	133,2	97,5	160	70	-----	-----
24	3.3	150	250	150	60	200	600	150	-----	-----
25	3.3	400	200	400	120	80	400	180	-----	-----

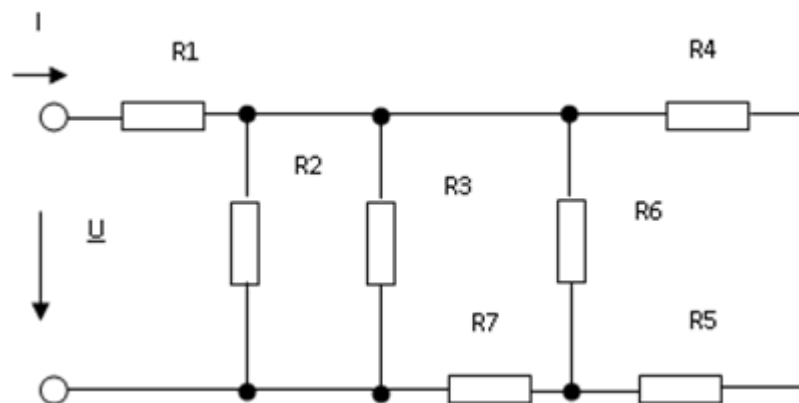


Рис. 3.2

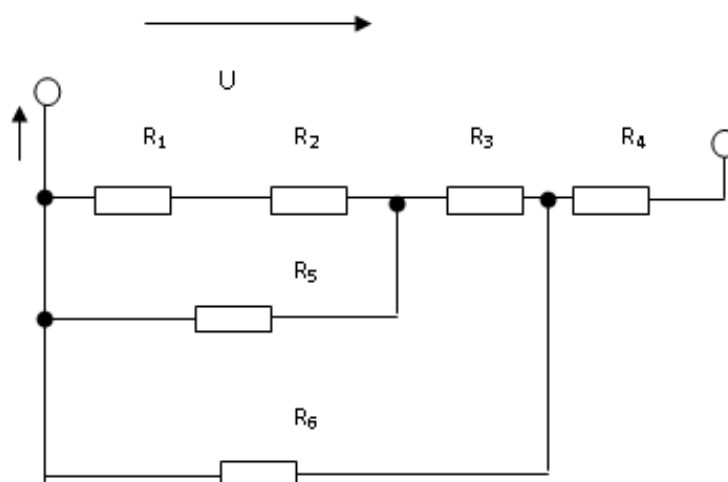


Рис. 3.3

5. Технология работы

- 5.1. Записать номер работы, тему, номер варианта, данные своего варианта.
- 5.2. Изобразить схему электрической цепи в соответствии с данными своего варианта.
- 5.3. Указать на схеме положительные направления токов в ветвях.
- 5.4. Определить эквивалентное сопротивление цепи.
- 5.5. Определить напряжение и ток каждого участка электрической цепи. Расчёт начинать с последнего этапа преобразования, определяя тип соединения участков

(последовательно или параллельно) и используя свойства соединений о равенстве токов при последовательном соединении участков или равенстве напряжений при параллельном соединении.

5.6. Определить мощность всей нагрузки и каждого участка и составить баланс мощностей.

6. Требования к отчёту

6.1. Схему электрической цепи выполнять с применением чертёжных инструментов.

6.2. Вычисления начинать с записи расчётных формул в общем виде.

6.3. Размеры величин указывать в системе СИ.

7. Контрольные вопросы

7.1. Что называют последовательным соединением резисторов?

7.2. Что называют параллельным соединением резисторов?

7.3. Перечислить свойства последовательного соединения резисторов.

7.4. Перечислить свойства параллельного соединения резисторов.

7.5. Как определяется эквивалентное сопротивление при последовательном соединении резисторов?

7.6. Как определяется эквивалентное сопротивление при параллельном соединении ~~двух~~ резисторов?

7.7. На каком из двух последовательно соединённых, разных по величине резисторов, будет больше падение напряжения?

7.8. В какой из двух параллельных ветвей, имеющих разное сопротивление, будет больше ток?

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 4

2 часа

РАСЧЁТ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ МЕТОДОМ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЗВЕЗДЫ И ТРЕУГОЛЬНИКА

1. Цель работы

Приобретение практических навыков преобразования треугольника резисторов в трёхлучевую звезду и преобразования трёхлучевой звезды резисторов в треугольник

2. Обеспечивающие средства

2.1. Методические указания по выполнению практической работы;

2.2. Калькуляторы

3. Литература

3.1. Аполлонский С. М. Электротехника [Электронный ресурс]

3.2. Л.И.Фуфаева «Электротехника», §§ 3.2

4. Задание

Для схемы, соответствующей заданию варианта, определить параметры, указанные в таблице знаком «х».

Данные для расчетов своего варианта взять из таблицы 4.1.

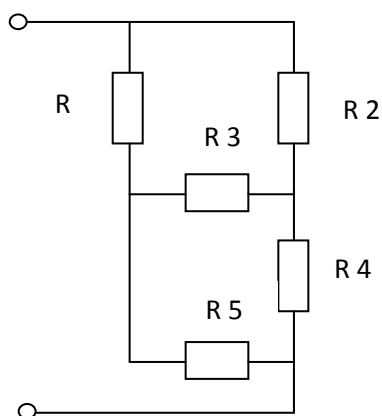


Схема 4.1

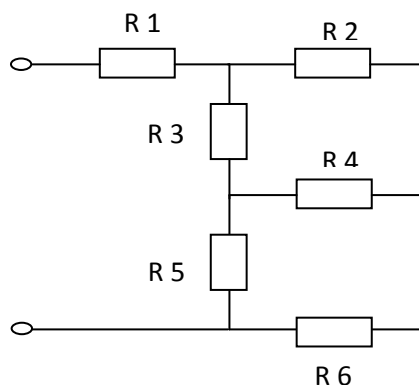


Схема 4.2

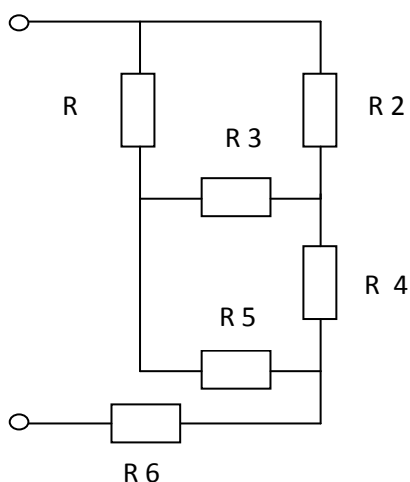


Схема 4.3

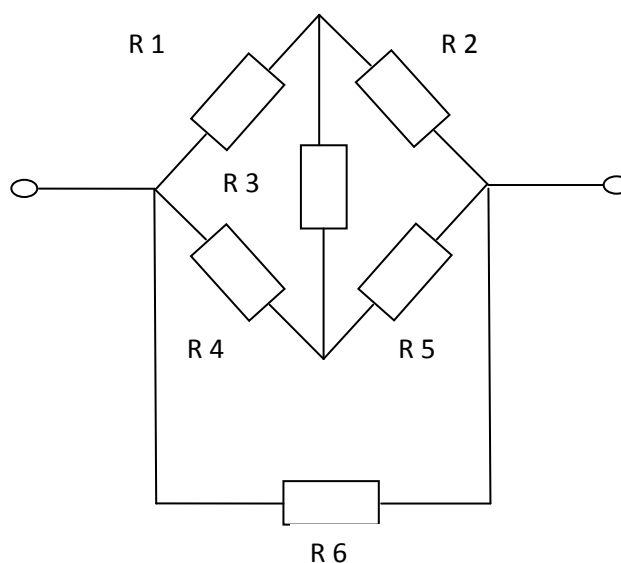


Схема 4.4

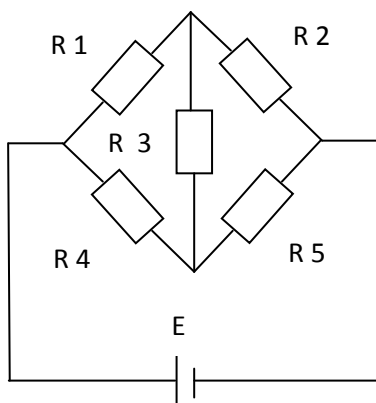


Схема 4.5

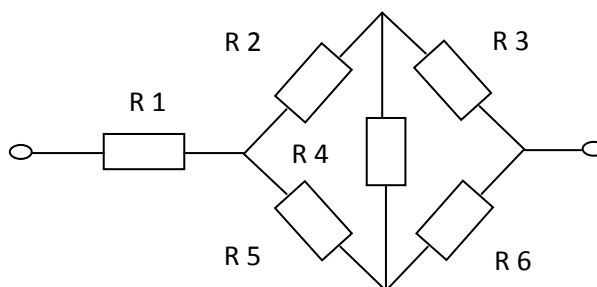


Схема 4.6

5. Технология работы

- 5.1. Записать номер работы, тему, цель, данные своего варианта.
- 5.2. Изобразить схему электрической цепи в соответствии с данными своего варианта.
- 5.3. Выполнить необходимое преобразование схемы «звезда-треугольник» или «треугольник-звезда».
- 5.4. Определить эквивалентное сопротивление цепи.
- 5.5. Определить активные параметры U или I (в соответствии с заданием).

Таблица 4.1

Вариант	№ схемы	$U(E),$ B	$I,$ A	$P,$ Bm	$R_1,$ Om	$R_2,$ Om	$R_3,$ Om	$R_4,$ Om	$R_5,$ Om	$R_6,$ Om
1	4.1	12	x	x	5	12	18	20	15	---
2	4.2	x	0,4	x	4	24	12	8	10	16
3	4.3	x	x	180	10	15	20	25	30	5
4	4.4	24	x	x	16	20	24	12	18	40
5	4.5	30	x	x	5	15	25	10	20	---
6	4.6	x	x	240	6	5	15	20	30	40

6. Требования к отчёту

- 6.1. Схему электрической цепи выполнять с применением чертёжных инструментов.
- 6.2. Вычисления начинать с записи расчётных формул в общем виде.
- 6.3. Размеры величин указывать в системе СИ.

7. Контрольные вопросы

- 7.1. Формулы преобразования трёхлучевой звезды резисторов в треугольник.
- 7.2. Формулы преобразования треугольника резисторов в трёхлучевую звезду.
- 7.3. Свойства последовательного соединения резисторов.
- 7.4. Свойства параллельного соединения резисторов.
- 7.5. Эквивалентное сопротивление при последовательном соединении резисторов.
- 7.6. Эквивалентное сопротивление при параллельном соединении резисторов.
- 7.7. Закон Ома для полной электрической цепи.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 5

2 часа

РАСЧЁТ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ МЕТОДОМ УЗЛОВОГО НАПРЯЖЕНИЯ

1. Цель работы

Приобретение практических навыков расчёта сложной электрической цепи постоянного тока методом узлового напряжения

2. Обеспечивающие средства

- 2.1. Методические указания по выполнению практической работы;
- 2.2. Калькуляторы

3. Литература

- 3.1. Аполлонский С. М. Электротехника [Электронный ресурс]
- 3.2. Л.И.Фуфаева «Электротехника», §§ 3.4

4. Задание

Для схемы, показанной на рисунке 5.1, определить токи в ветвях. Задачу решить методом узлового напряжения. Правильность решения задачи проверить составлением баланса мощности. Данные для расчетов (по вариантам) взять из таблицы 5.1.

Направление ЭДС источника смотреть по таблице исходных данных 5.1.

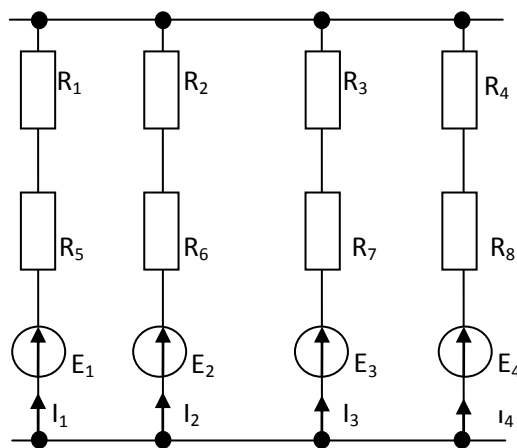


Рис. 5.1

Таблица 5.1

Вариант	$E_1,$ В	$E_2,$ В	$E_3,$ В	$E_4,$ В	$R_1,$ Ом	$R_2,$ Ом	$R_3,$ Ом	$R_4,$ Ом	$R_5,$ Ом	$R_6,$ Ом	$R_7,$ Ом	$R_8,$ Ом
1	70↓	30↓	---	100↑	9	18	11	4	1	2	9	1
2	150↑	---	200↓	100↑	16	3	15	8	4	7	5	2
3	---	120↓	---	300↑	9	9	30	8	3,5	1	20	2
4	240↑	---	---	180↓	8,5	17	11	20	4	3	1,5	5
5	210↓	---	360	---	4	25	14	35	1	8,33	6	15
6	---	200↓	300↑	150↓	12	40	12,5	8	8	10	---	2

5. Технология работы

- 5.1. Записать номер работы, тему, цель, данные своего варианта.
- 5.2. Изобразить схему электрической цепи 5.1 в соответствии с данными своего варианта.
- 5.3. Выбрать положительное направление узлового напряжения U_{AB} , указать соответствующие положительные направления токов в ветвях.
- 5.4. Определить проводимости ветвей.

5.5. Составить уравнение узлового напряжения $U_{AB} = \frac{\sum E \cdot G}{\sum G}$ с учётом направлений ЭДС источников, найти значение узлового напряжения.

- 5.6. Определить токи в ветвях $I_i = (E_i - U_{AB}) \cdot G_i$.
- 5.7. Проверить правильность определения токов по первому закону Кирхгофа.
- 5.8. Определить режим работы каждого источника ЭДС (генераторный или потребителя).
- 5.9. Составить баланс мощностей.

6. Требования к отчёту

- 6.1. Изобразить схему электрической цепи с применением чертёжных инструментов.
- 6.2. Вычисления начинать с записи расчётных формул в общем виде.
- 6.3. Размеры величин указывать в системе СИ.

7. Контрольные вопросы

- 7.1. Область применения метода узлового напряжения.
- 7.2. Формула узлового напряжения.
- 7.3. Знаки ЭДС в формулах узлового напряжения.
- 7.4. Положительные направления токов в ветвях.
- 7.5. Как определяются проводимости ветвей?
- 7.6. Первый закон Кирхгофа.
- 7.7. Мощность источника ЭДС.
- 7.8. Мощность приёмника.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 6
2 часа
РАСЧЁТ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ МЕТОДОМ НАЛОЖЕНИЯ

1. Цель работы

Приобретение практических навыков расчёта сложной электрической цепи постоянного тока методом наложения

2. Обеспечивающие средства

- 2.1. Методические указания по выполнению практической работы;
- 2.2. Калькуляторы

3. Литература

- 3.1. Аполлонский С. М. Электротехника [Электронный ресурс]
- 3.2. Л.И.Фуфаева «Электротехника», §§ 3.4

4. Задание

Для схемы, номер которой указан в задании соответствующего варианта, определить токи в ветвях. Данные для расчетов (по вариантам) взять из таблицы 6.1. Правильность решения проверить по первому закону Кирхгофа.

Направление ЭДС источника смотреть по таблице исходных данных 6.1.

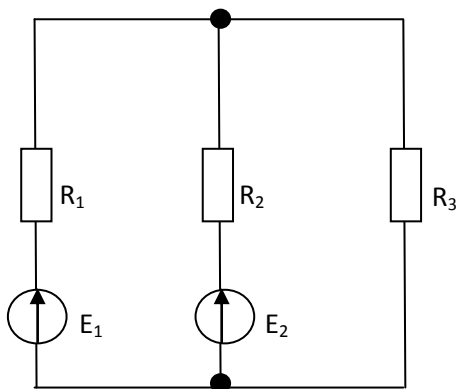


Рисунок 6.1

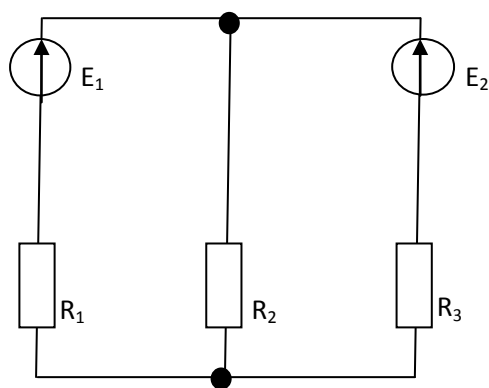


Рисунок 6.2

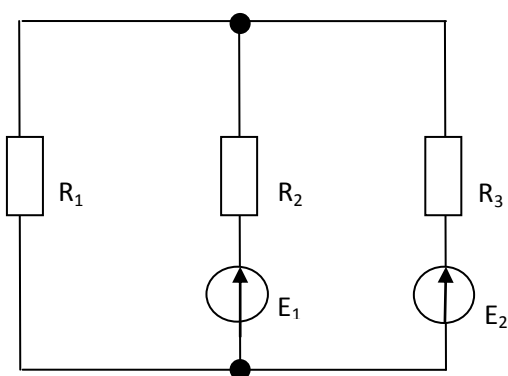


Рисунок 6.3

5. Технология работы

- 5.1. Записать номер работы, тему, цель, данные своего варианта.
- 5.2. Изобразить схему электрической цепи в соответствии с данными своего варианта. Направление ЭДС указывать в соответствии с заданием (Таблица 6.1)

5.3. Изобразить схему электрической цепи с источником E_1 ; указать направление частичных токов, создаваемых первым источником I_1' , I_1' , I_3' ; определить частичные токи от действия первого источника I_1' , I_1' , I_3' .

5.4. Изобразить схему электрической цепи с источником E_2 ; указать направление частичных токов, создаваемых вторым источником I_1'' , I_2'' , I_3'' ; определить частичные токи от действия второго источника I_1'' , I_2'' , I_3'' .

5.5. Определить полные токи в ветвях как алгебраическую сумму частичных токов.

5.6. Указать на исходной схеме действительные направления токов.

5.7. Проверить правильность решения по первому закону Кирхгофа.

5.8. Определить режим работы каждого источника ЭДС (генераторный или потребителя). Составить баланс мощностей.

Таблица 6.1

Вариант	№ схемы	E_1 , В	E_2 , В	R_1 , Ом	R_2 , Ом	R_3 , Ом
1	6.1	40↑	120↓	20	30	40
2	6.2	180↓	90↓	15	30	45
3	6.3	210↓	120↑	60	20	40
4	6.1	60↑	100↑	30	40	50
5	6.2	150↓	60↑	50	50	25
6	6.3	30↑	120↑	45	30	15

6. Требования к отчёту

6.1. Схему электрической цепи выполнять с применением чертёжных инструментов.

6.2. Вычисления начинать с записи расчётных формул в общем виде.

6.3. Размеры величин указывать в системе СИ.

7. Контрольные вопросы

7.1. Область применения метода наложения.

7.2. Понятие частичного тока.

7.3. Определение полных токов в ветвях по методу наложения.

7.4. Эквивалентное сопротивление при последовательном и параллельном соединении сопротивлений.

7.5. Свойства последовательного и параллельного соединения сопротивлений.

7.6. Мощность приёмника электрической энергии.

7.7. Мощность источника ЭДС.

7.8. Баланс мощностей.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 7

2 часа

РАСЧЁТ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ С НЕЛИНЕЙНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ

1. Цель работы

Приобретение практических навыков расчёта электрической цепи постоянного тока с нелинейными элементами графическим методом

2. Обеспечивающие средства

2.1. Методические указания по выполнению практической работы;

2.2. Калькуляторы

3. Литература

3.1. Аполлонский С. М. Электротехника [Электронный ресурс]

3.2. Л.И.Фуфаева «Электротехника», §§ 4.1-4.2

4. Задание

4.1. Два нелинейных элемента $HЭ1$ и $HЭ2$ соединены последовательно. Вольт–амперные характеристики (ВАХ) нелинейных элементов и напряжение питания U заданы в таблице заданий по вариантам 7.7.

Определите ток I и падение напряжения на каждом элементе U_1, U_2 .

Таблица 7.1

№ ВАХ	$U_{HЭ}, В$	20	40	80	120	160	200	$U=250 В$
1	$I_{HЭ}, мА$	3,5	9	28	56	84	112	
2	$I_{HЭ}, мА$	8	23	120				

Таблица 7.2

№ ВАХ	$U_{HЭ}, В$	50	100	150	200	250	$U=200 В$
1	$I_{HЭ}, мА$	0,2	0,6	1,4	2,6	5,6	
2	$I_{HЭ}, мА$	0,5	1,3	2,5	5,5		

Таблица 7.3

№ ВАХ	$U_{HЭ}, В$	10	20	30	40	50	60	70	80	$U=100 В$
1	$I_{HЭ}, мА$	5	8	13	23	38	55	84	120	
2	$I_{HЭ}, мА$	10	20	35	60	100				

4.2. Нелинейный элемент $HЭ1$ соединен последовательно с резистором R и подключен к источнику постоянного напряжения U . Вольт–амперная характеристика нелинейного элемента, сопротивление резистора R и напряжение питания U заданы в таблице 7.7.

Определите силу тока в цепи I , а также падение напряжения на нелинейном элементе $U_{HЭ}$ и на резисторе U_R .

4.3. Два нелинейных элемента $HЭ1$ и $HЭ2$ соединены параллельно. Вольт-амперные характеристики нелинейных элементов и ток I_B неразветвлённой части цепи заданы в таблице 7.7.

Определите напряжение U и токи в ветвях I_1, I_2 .

Таблица 7.4

№ ВАХ	$U_{HЭ}, В$	8	16	24	32	$I=400 мА$
1	$I_{HЭ}, мА$	200	270	300	310	
2	$I_{HЭ}, мА$	100	160	180	190	

Таблица 7.5

№ ВАХ	$U_{HЭ}, B$	50	100	150	200	250	300	$I=20\text{ мА}$
1	$I_{HЭ}, \text{мА}$	5	7	8	9	9,5	10	
2	$I_{HЭ}, \text{мА}$	10	15	17	17,5	17,7	18	

Таблица 7.6

№ ВАХ	$U_{HЭ}, B$	2	4	6	8	10	12	$I=40\text{ мА}$
1	$I_{HЭ}, \text{мА}$	5	17	25	27	28	29	
2	$I_{HЭ}, \text{мА}$	12	19	22	22,5	23	23	

Таблица 7.7

Вариант	№ первого задания	№ второго задания	№ таблицы с ВАХ1 и ВАХ2	Данные к заданию 4.2	
				$R, \text{кОм}$	U, B
1	4.1	4.2	7.1	4	200
2	4.3	4.2	7.4	0,1	30
3	4.1	4.2	7.2	30	300
4	4.3	4.2	7.5	12	240
5	4.1	4.2	7.3	2	200
6	4.3	4.2	7.6	3	120

5. Технология работы

- 5.1. Выбрать из таблицы 7.7 номера заданий, соответствующие Вашему варианту.
- 5.2. Изобразить схему электрической цепи согласно первому заданию.
- 5.3. Построить графики $ВАХ$ нелинейных элементов в масштабе.
- 5.4. Построить график суммарной $ВАХ$.
- 5.5. Определить графически параметры рабочего режима электрической цепи (при заданном значении напряжения U).
- 5.6. Изобразить схему электрической цепи согласно второму заданию.
- 5.7. Рассчитать координаты двух точек для построения нагрузочной характеристики $I_R=f(U_{HЭ})$ при $U_{HЭ}=0$ и $U_{HЭ}=U$.
- 5.8. Выбрать масштаб и построить график $ВАХ$ нелинейного элемента и нагрузочную характеристику.
- 5.9. Определить параметры рабочего режима: I , $U_{HЭ}$ и U_R .

6. Требования к отчёту

- 6.1. Схему электрической цепи выполнять с применением чертёжных инструментов.
- 6.2. Вычисления начинать с записи расчётных формул в общем виде.
- 6.3. Размеры величин указывать в системе СИ.

7. Контрольные вопросы

- 7.1. Какие элементы электрических цепей относятся к нелинейным?
- 7.2. Примеры линейных и нелинейных элементов.
- 7.3. Что такое вольт-амперная характеристика?
- 7.4. Как строится суммарная $ВАХ$ при последовательном соединении нелинейных элементов?
- 7.5. Как строится суммарная $ВАХ$ при параллельном соединении нелинейных элементов?
- 7.6. Как строится нагрузочная характеристика при последовательном соединении нелинейного и линейного элементов?

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 8

2 часа

РАСЧЕТ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ПРОВОДА С ТОКОМ И МАГНИТНОГО ПОЛЯ КАТУШКИ

1. Цель работы

Приобретение практических навыков расчёта параметров магнитного поля провода с током и магнитного поля катушки

2. Обеспечивающие средства

2.1. Методические указания по выполнению практической работы;

2.2. Калькуляторы

3. Литература

3.1. Аполлонский С. М. Электротехника [Электронный ресурс]

3.2. Л.И.Фуфаева «Электротехника», § 5.2; 5.5-5.6

4. Задание

4.1. По проводнику диаметром d_{np} проходит ток I .

Найти напряженность магнитного поля H в точках, удаленных от центра провода на расстояниях $r_1, r_2, r_3, \dots, r_n$.

Построить в масштабе график $H = f(r)$.

Данные своего варианта взять из таблицы 8.1.

4.2. Катушка с кольцевым сердечником круглого сечения изготовлена из электротехнической стали с относительной магнитной проницаемостью μ . Внутренний радиус сердечника r_1 , наружный радиус сердечника r_2 . Обмотка катушки содержит ω витков, по которым протекает ток I .

Вычислить напряженность магнитного поля H , магнитную индукцию B и магнитный поток Φ в сердечнике катушки.

Данные своего варианта взять из таблицы 8.1.

Таблица 8.1

Вариант	Задание 4.1								Задание 4.2				
	d_{np} , мм	I , А	r_1 , мм	r_2 , мм	r_3 , мм	r_4 , мм	r_5 , мм	r_6 , мм	μ	r_1 , см	r_2 , см	ω	I , А
1	20	200	0	10	20	30	40	50	2000	8	12	400	2,5
2	14	100	0	4	7	10	14	21	5000	10	18	1500	0,25
3	12	300	0	3	6	12	20	30	2800	11	15	1600	1,5
4	24	500	0	4	6	12	30	60	1500	12	18	1200	0,4
5	20	100	0	5	10	15	30	40	2500	11	19	800	1,2
6	16	200	0	5	8	16	32	40	4000	9	15	3200	0,2

5. Технология работы

5.1. Порядок выполнения задания 4.1:

5.1.1. Проанализировать расположение заданных точек: установить, находятся ли заданные точки внутри проводника или за его пределами.

5.1.2. Определить напряженность магнитного поля H_i в точках, расположенных внутри проводника $H_i = I \cdot r_i / 2\pi r_o^2$.

5.1.3. Определить напряженность магнитного поля H_i в точках, расположенных за пределами проводника $H_i = I / 2\pi r_i$.

5.1.4. Построить график $H = f(r)$, выбрав предварительно масштаб по каждой из осей и произведя в выбранном масштабе разметку осей.

5.2. Порядок выполнения задания 4.2:

5.2.1. Определить радиус средней линии сердечника r_{cp} и длину средней линии сердечника l_{cp} .

5.2.2. Определить намагничивающую силу обмотки $F = I \cdot \omega$.

5.2.3. Найти напряженность магнитного поля H внутри сердечника (вдоль средней линии) и магнитную индукцию B .

5.2.4. Определить площадь **поперечного сечения** $S_{сеч.}$ сердечника катушки.

5.2.5. Вычислить магнитный поток Φ , замыкающийся по сердечнику.

6. Требования к отчёту

6.1. Графические построения выполнять с применением чертёжных инструментов.

6.2. Вычисления начинать с записи расчётных формул в общем виде.

6.3. Размеры величин указывать в системе СИ.

7. Контрольные вопросы

7.1. Намагничивающая сила прямолинейного провода с током.

7.2. Намагничивающая сила катушки.

7.3. Определение понятия «напряженность магнитного поля».

7.4. Как определяется направление вектора напряженности магнитного поля?

7.5. Напряженность магнитного поля в точке, находящейся на расстоянии r от центра прямолинейного проводника.

7.6. Формула для расчёта магнитной индукции B .

7.7 Формула для расчёта магнитного потока Φ .

7.8. Как определяется направление магнитного потока катушки?

7.9. Закон полного тока.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 9
2 часа
РАСЧЁТ НЕРАЗВЕТВЛЕННОЙ МАГНИТНОЙ ЦЕПИ

1. Цель работы

Приобретение практических навыков расчёта неразветвленной неоднородной магнитной цепи (МЦ)

2. Обеспечивающие средства

- 2.1. Методические указания по выполнению практической работы;
- 2.2. Калькуляторы

3. Литература

- 3.1. Аполлонский С. М. Электротехника [Электронный ресурс]
- 3.2. Л.И.Фуфаева «Электротехника», §§ 6.2

4. Задание

Сердечник катушки изготовлен из электротехнической стали. Размеры сердечника указаны на рисунке. Обмотка катушки содержит ω витков.

Вычислить намагничивающий ток I_w обмотке катушки, при котором в сердечнике создается магнитный поток Φ . Определить индуктивность катушки L , энергию магнитного поля катушки W и относительную магнитную проницаемость стали μ .

Марка стали и другие исходные параметры (по вариантам) указаны в таблице 9.1.

5. Технология работы

- 5.1. Провести в магнитопроводе среднюю линию, разбить МЦ на однородные участки.
- 5.2. Определить длину l_i и сечение S каждого участка.
- 5.3. Используя характеристики намагничивания ферромагнитных материалов (Приложение 1, стр. 47), определить магнитную индукцию B_i каждого стального участка.
- 5.4. Рассчитать магнитную индукцию в воздушных зазорах B_{0i} .
- 5.5. Составить уравнение по второму закону Кирхгофа для МЦ
$$\sum I \cdot \omega = \sum H \cdot l$$
- 5.6. Выразить из уравнения намагничивающий ток, определить его величину.
- 5.7. Определить заданные параметры магнитного поля.

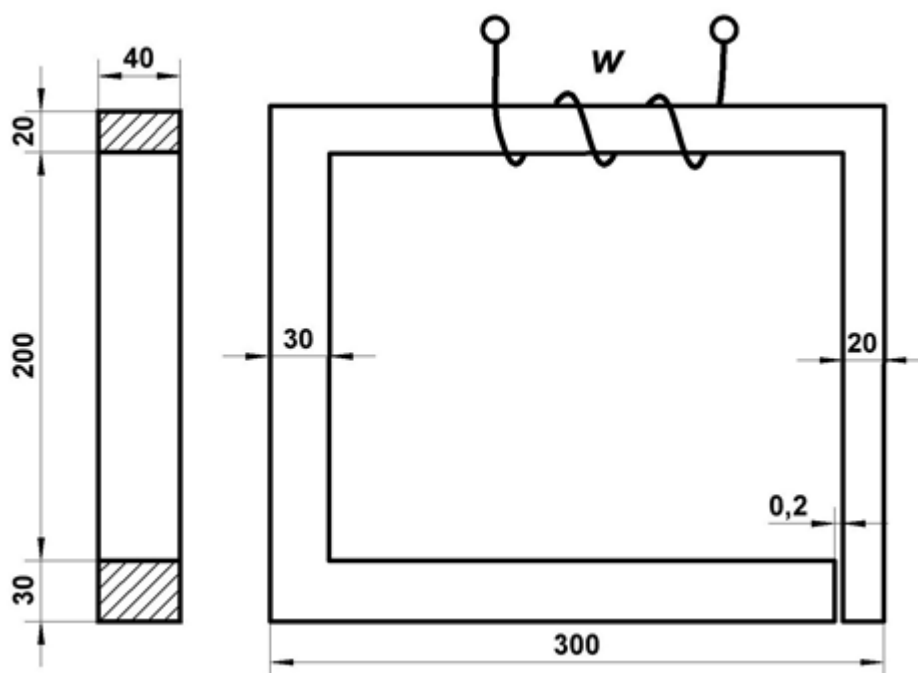


Рисунок 9.1

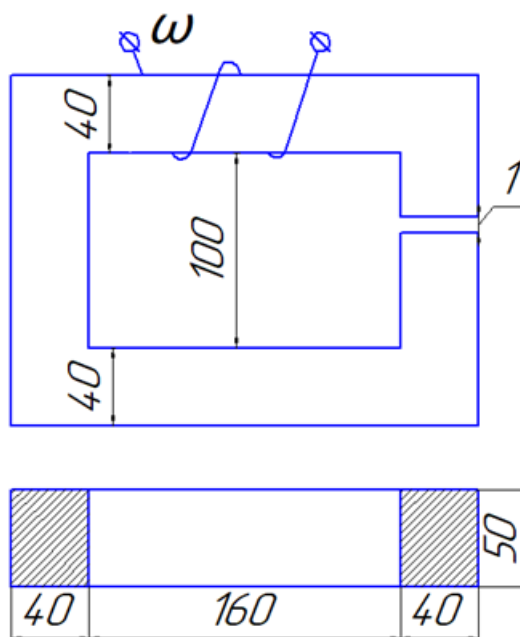


Рисунок 9.2

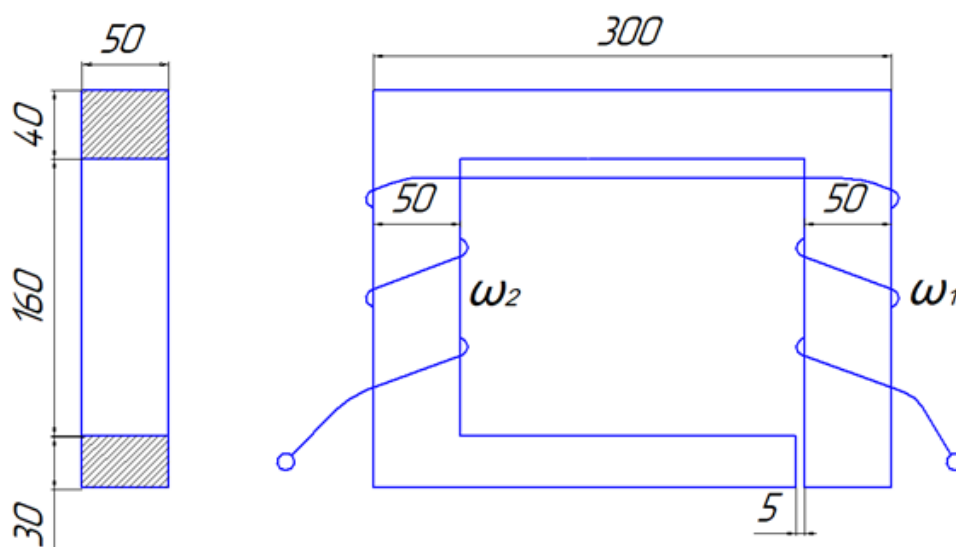


Рисунок 9.3

Таблица 9.1

Вариант	1	2	3	4	5	6
Марка стали	Литая	1512	1212	1211	1311	1511
Φ , Вб	$9,6 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-3}$	$3,46 \cdot 10^{-4}$	$4,5 \cdot 10^{-3}$
Количество витков, ω	500	800	$\omega_1=1200$ $\omega_2=400$	$\omega_1=1000$ $\omega_2=400$	500	1000

6. Требования к отчёту

- 6.1. Схему МЦизобразить с применением чертёжных инструментов.
- 6.2. Вычисления начинать с записи расчётных формул в общем виде.
- 6.3. Размеры величин указывать в системе СИ.

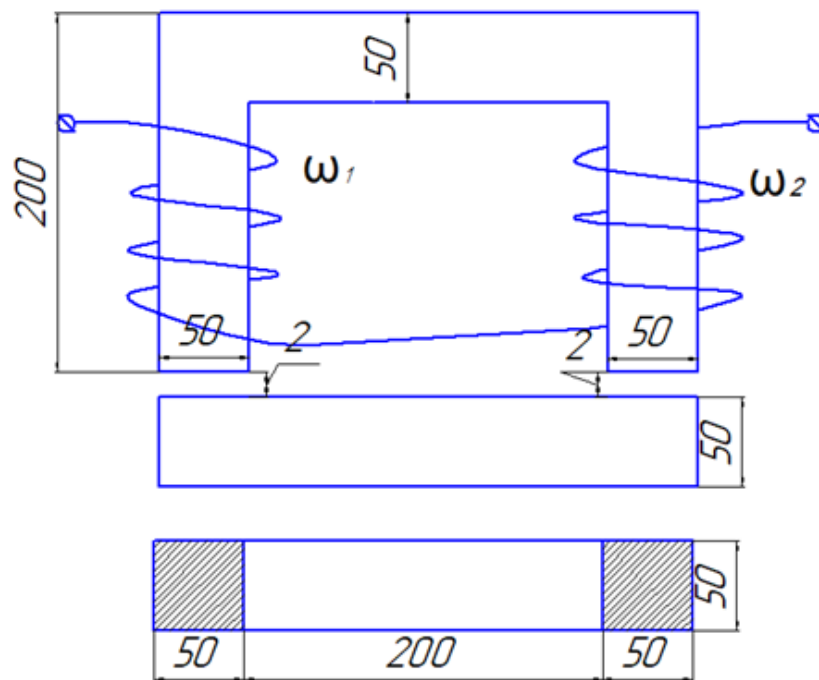


Рисунок 9.4

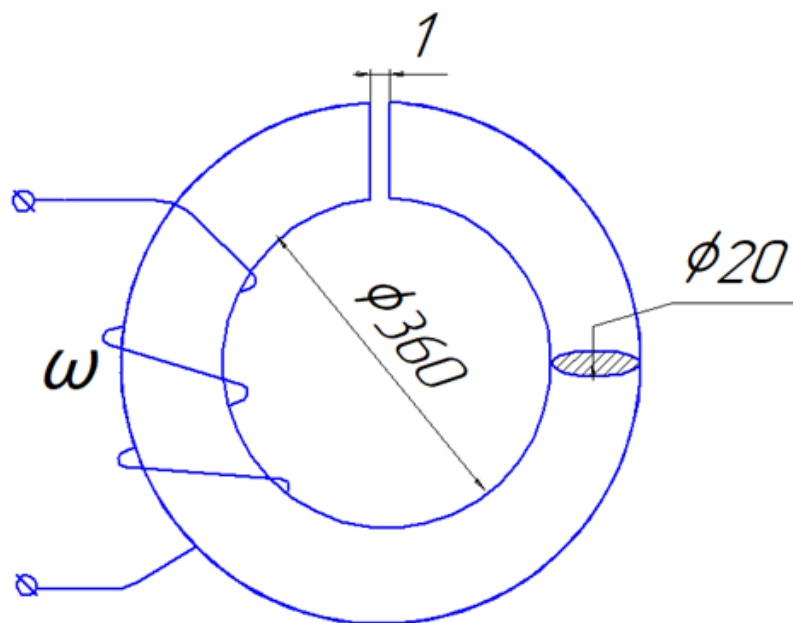


Рисунок 9.5

7. Контрольные вопросы

- 7.1. Что такое магнитная цепь?
- 7.2. Что такое однородная магнитная цепь?
- 7.3. Как определяется магнитный поток?
- 7.4. Потокосцепление.
- 7.5. Индуктивность.
- 7.6. От каких параметров зависит индуктивность катушки?
- 7.7. Порядок расчёта неразветвлённой неоднородной МЦ.
- 7.8. Энергия магнитного поля катушки.
- 7.9. Законы Кирхгофа при расчёте магнитной цепи.

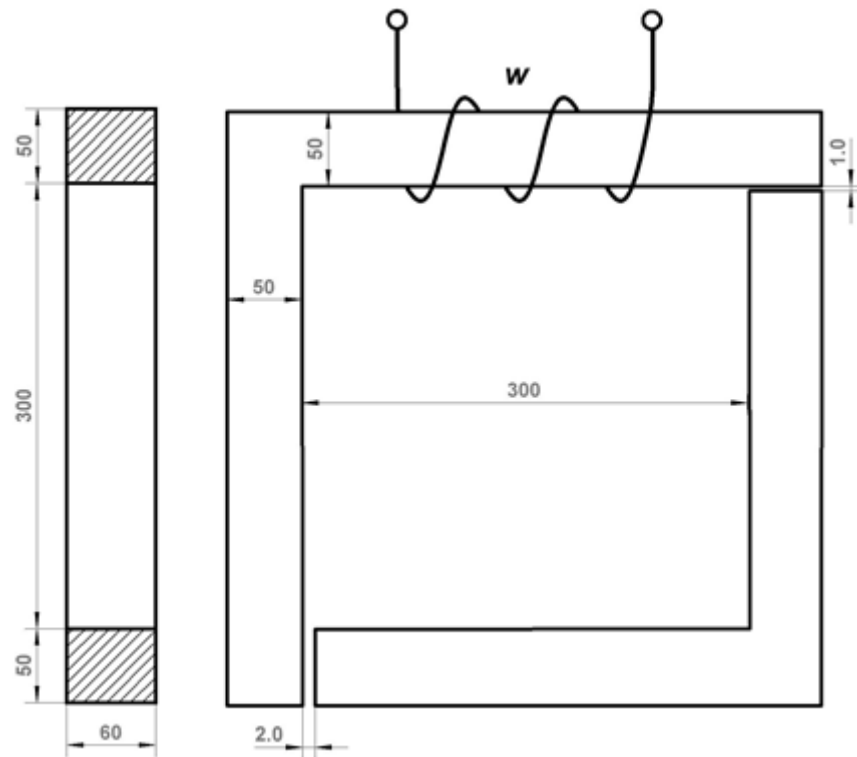


Рисунок 9.6

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 10

2 часа

РАСЧЕТ НЕРАЗВЕТВЛЕННОЙ ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА С РЕАЛЬНОЙ КАТУШКОЙ И РЕАЛЬНЫМ КОНДЕНСАТОРОМ

1. Цель работы

Приобретение практических навыков расчета неразветвленных цепей переменного тока и построения векторных диаграмм

2. Обеспечивающие средства

- 2.1. Методические указания по выполнению практической работы;
- 2.2. Калькуляторы

3. Литература

- 3.1. Аполлонский С. М. Электротехника [Электронный ресурс]
- 3.2. Л.И.Фуфаева «Электротехника», §§ 9.2-9.5

4. Задание

4.1. Неразветвленная цепь переменного тока содержит активное и реактивное сопротивления, величины которых и уравнение мгновенных значений входного напряжения заданы в таблице 10.1.

Определить:

- а) полное сопротивление цепи Z ;
- б) действующее значение тока I ;
- в) действующие значения напряжений на активном и реактивном сопротивлениях (U_a , U_p);

г) коэффициент мощности $\cos\varphi$ и угол сдвига фаз φ ;

д) активную P , реактивную Q и полную S мощности, потребляемые цепью.

Записать уравнение мгновенных значений тока.

Построить в масштабе треугольники напряжений, сопротивлений, мощностей.

*Построить в масштабе векторную диаграмму цепи (с учётом начальных фаз).

*Записать уравнения мгновенных значений напряжений на активном (u_a) и реактивном (u_p) сопротивлениях.

Таблица 10.1

Вариант	R, Ом	X, Ом	Уравнение мгновенных значений напряжения
1	110	$X_L = 70$	$u = 290 \cdot \sin(314t - 15^\circ)$
2	24	$X_C = 40$	$u = 185 \cdot \sin(500t + 21^\circ)$
3	18	$X_L = 47$	$u = 216 \cdot \sin(628t - 62^\circ)$
4	95	$X_C = 120$	$u = 456 \cdot \sin(400t + 35^\circ)$
5	17	$X_L = 32$	$u = 104 \cdot \sin(942t - 74^\circ)$
6	120	$X_C = 50$	$u = 372 \cdot \sin(200t - 90^\circ)$
7	34	$X_L = 20$	$u = 158 \cdot \sin(1256t + 150^\circ)$
8	110	$X_C = 60$	$u = 316 \cdot \sin(100t - 45^\circ)$
9	23	$X_L = 14$	$u = 244 \cdot \sin(157t + 65^\circ)$
10	39	$X_C = 18$	$u = 188 \cdot \sin(250t + 58^\circ)$
11	30	$X_L = 50$	$u = 119 \cdot \sin(240t - 90^\circ)$
12	54	$X_C = 54$	$u = 295 \cdot \sin(200t - 12^\circ)$
13	14	$X_L = 16$	$u = 70 \cdot \sin(314t - 105^\circ)$
14	12	$X_C = 20$	$u = 154 \cdot \sin(160t - 18^\circ)$
15	18	$X_L = 14$	$u = 182 \cdot \sin(157t + 30^\circ)$

5. Технология работы

- 5.1. Изобразить схему электрической цепи в соответствии с данными своего варианта.
- 5.2. Определить полное сопротивление Z .
- 5.3. Определить действующее значение напряжения U .

- 5.4. Определить действующее значение тока I .
- 5.5. Вычислить действующие значения напряжений на активном и реактивном сопротивлениях (U_a и U_p).
- 5.6. Определить $\cos\varphi$ и φ .
- 5.5. Вычислить мощности P , Q , S .
- 5.6. Определить максимальное значение тока I_m . Записать уравнение мгновенных значений тока с учётом сдвига фаз φ .
- 5.7. Выбрать масштабы по току и по напряжению. Построить треугольник напряжений относительно тока. Вектор тока изобразить в масштабе горизонтально, векторы действующих значений напряжений на активном и реактивном сопротивлениях (U_a и U_p) построить с учётом сдвигов фаз. Вектор полного напряжения U построить как векторную сумму активного и реактивного напряжений. Аналогично построить треугольники сопротивлений и мощностей, каждый в своём масштабе.
- 5.8. Построить векторную диаграмму напряжений, учитывая начальные фазы каждой величины и сдвиги фаз. Изобразить вектор тока и векторы напряжений на каждом участке цепи. Сложить векторы напряжений на участках (U_a и U_p), получив вектор общего напряжения. Сравнить с расчётным значением.

6. Требования к отчёту

- 6.1. Схему электрической цепи выполнять с применением чертёжных инструментов.
- 6.2. Вычисления начинать с записи расчётных формул в общем виде.
- 6.3. Размеры величин указывать в системе СИ.

7. Контрольные вопросы

- 7.1. Действующее значение синусоидального тока.
- 7.2. Как зависит индуктивное сопротивление от частоты?
- 7.3. Как зависит ёмкостное сопротивление от частоты?
- 7.4. Полное сопротивление в цепи переменного тока (формула).
- 7.5. Что понимают под активной мощностью? Расчётные формулы.
- 7.6. Что понимают под реактивной мощностью? Расчётные формулы.
- 7.7. Угловая частота (формула).
- 7.8. Правило о сдвиге фаз в цепи с активным сопротивлением.
- 7.9. Правило о сдвиге фаз в цепи с индуктивностью.
- 7.10. Правило о сдвиге фаз в цепи с ёмкостью.
- 7.11. Вид треугольника сопротивлений при активно-индуктивной нагрузке.
- 7.12. Вид треугольника мощностей при активно-ёмкостной нагрузке.

РАСЧЕТ НЕРАЗВЕТВЛЕННОЙ ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

1. Цель работы

Приобретение практических навыков расчета неразветвленных цепей переменного тока и построения векторных диаграмм

2. Обеспечивающие средства

2.1. Методические указания по выполнению практической работы;

2.2. Калькуляторы

3. Литература

3.1. Аполлонский С. М. Электротехника [Электронный ресурс]

3.2. Л.И.Фуфаева «Электротехника», §§ 9.6

4. Задание

Неразветвленная цепь переменного тока содержит активное R , индуктивное X_L и емкостное X_C сопротивления, величины которых и уравнение мгновенных значений входного напряжения $u=f(t)$ заданы в таблице 11.1.

Определить:

а) полное сопротивление цепи Z ;

б) действующее значение тока I в цепи;

в) напряжение на каждом участке U_a , U_L , U_C ;

г) угол сдвига фаз φ ;

д) активную P , реактивную Q и полную S мощности, потребляемые цепью.

Записать уравнения мгновенных значений тока $i=f(t)$.

Построить в масштабе треугольники напряжений, сопротивлений, мощностей.

* Записать уравнения мгновенных значений напряжений u_a , u_L , u_C и построить в масштабе векторную диаграмму с учётом начальных фаз.

5. Технология работы

5.1. Изобразить схему электрической цепи.

5.2. Определить полное сопротивление Z .

5.3. Определить действующие значения напряжения U и тока I .

5.4. Найти по закону Ома напряжение на каждом участке U_a , U_L , U_C .

5.5. Определить $\cos\varphi$ и φ .

5.6. Вычислить мощности P , Q , S .

5.7. Найти максимальное значение тока. Записать уравнения мгновенных значений тока с учётом сдвига фаз.

5.8. Выбрать масштабы по току и по напряжению, определить длину векторов I , U_a , U_L , U_C . Вектор тока изобразить в масштабе горизонтально. Построить треугольник напряжений относительно тока: для этого векторы действующих значений напряжений на активном сопротивлении U_a и на реактивных сопротивлениях U_L и U_C откладывать с учётом сдвигов фаз последовательно один за другим. Вектор полного напряжения U построить как векторную сумму напряжений U_a , U_L , U_C .

5.9. Аналогично построить треугольники сопротивлений и мощностей, каждый в своём масштабе.

5.10. Построение векторной диаграммы начать с тока, который нужно изобразить с учётом начальной фазы в выбранном масштабе. Напряжения U_a , U_L , U_C построить с учётом сдвигов фаз. Вектор полного напряжения U построить путём сложения векторов U_a , U_L , U_C по правилу параллелограмма. Сравнить с заданным значением.

6. Требования к отчёту

6.1. Схему электрической цепи выполнять с применением чертёжных инструментов.

6.2. Вычисления начинать с записи расчётных формул в общем виде.

6.3. Размеры величин указывать в системе СИ.

Таблица 11.1

Вариант	$R, \text{ Ом}$	$X_L, \text{ Ом}$	$X_C, \text{ Ом}$	Входное напряжение
1	24	60	28	$u = 112 \cdot \sin(200t + 15^\circ)$
2	20	30	46,6	$u = 182 \cdot \sin(314t - 21^\circ)$
3	30	75	35	$u = 210 \cdot \sin(400t + 70^\circ)$
4	16	22	34	$u = 56 \cdot \sin(\omega t - 35^\circ)$
5	17	50,6	30,6	$u = 105 \cdot \sin(\omega t + 74^\circ)$
6	25	10	41,2	$u = 84 \cdot \sin(\omega t - 60^\circ)$
7	36	48	21	$u = 126 \cdot \sin(\omega t + 135^\circ)$
8	45	25	56,6	$u = 308 \cdot \sin(\omega t - 45^\circ)$
9	25	40,5	16	$u = 245 \cdot \sin(\omega t + 65^\circ)$
10	27	15	51	$u = 189 \cdot \sin(\omega t - 58^\circ)$
11	21,8	60	15	$u = 280 \cdot \sin(\omega t + 55^\circ)$
12	52	40	70	$u = 168 \cdot \sin(\omega t - 28^\circ)$
13	24,2	40,1	26	$u = 98 \cdot \sin(\omega t + 105^\circ)$
14	49	14	74	$u = 196 \cdot \sin(\omega t - 90^\circ)$
15	151	40	200	$u = 154 \cdot \sin(\omega t + 26^\circ)$

7. Контрольные вопросы

- 7.1. Как определяется действующее значение синусоидального напряжения?
- 7.2. Полное сопротивление в цепи переменного тока из треугольника сопротивлений.
- 7.3. Формулы активной мощности.
- 7.4. Формулы реактивной мощности.
- 7.5. Коэффициент мощности. Формулы.
- 7.6. Правило о сдвиге фаз при активно-индуктивной нагрузке.
- 7.7. Правило о сдвиге фаз при активно-ёмкостной нагрузке.
- 7.8. Единицы измерения активной мощности, реактивной и полной.
- 7.9. Полная мощность. Формулы для определения полной мощности.
- 7.10. Реактивное сопротивление в цепи с индуктивностью и ёмкостью.
- 7.11. Треугольник сопротивлений в цепи с последовательным соединением R , L , C для случая $X_L < X_C$.
- 7.12. Коэффициент мощности. Расчётные формулы.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 12

2 часа

РАСЧЕТ РАЗВЕТВЛЕННОЙ ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

1. Цель работы

Приобретение практических навыков расчета разветвленных цепей переменного тока методом проводимостей и построения треугольников токов

2. Обеспечивающие средства

2.1. Методические указания по выполнению практической работы;

2.2. Калькуляторы

3. Литература

3.1. Аполлонский С. М. Электротехника [Электронный ресурс]

3.2. Л.И.Фуфаева «Электротехника», §§ 9.8

4. Задание

Цепь переменного тока состоит из двух параллельных ветвей, каждая из которых содержит активное R и реактивное X сопротивление, величины которых и действующее значение входного напряжения U заданы в таблице 12.1 ($X_L > 0$; $X_C < 0$).

Пользуясь методом проводимостей, определить токи в параллельных ветвях I_1 , I_2 и ток в неразветвленной части цепи I , а также мощности каждой ветви и всей цепи.

Построить треугольники токов и треугольник мощностей.

*Записать формулы мгновенных значений напряжения u , тока в неразветвленной части цепи i и токов в ветвях i_1 , i_2 при условии, что частота $f = 100 \text{ Гц}$, $\psi_u = 90^\circ$

Таблица 12.1

Вариант	$U, \text{В}$	Z_1		Z_2	
		$R_1, \text{Ом}$	$X_1, \text{Ом}$	$R_2, \text{Ом}$	$X_2, \text{Ом}$
1	60	16	12	10	-20
2	70	18,33	-8	15	24
3	80	16,6	15	7	-14,18
4	100	24	-20,6	17	14,5
5	110	20	10	12	-12
6	120	30	-21	15	30
7	40	6	20	10	-15
8	50	12	-15	18	10
9	60	24	18	20	-9,5
10	70	13	-10	22	16
11	80	15	12	25	-15
12	90	24	-18	23	10
13	100	10	20	15	-15
14	50	12	-16	12	8
15	80	16	18	8	-15

5. Технология работы

5.1. Изобразить схему цепи, учитывая характер нагрузок согласно данным своего варианта. Например, если в первой ветви имеется индуктивное сопротивление $\omega L_1 = 20 \text{ Ом}$, то следует обозначить его $X_{L1} = 20 \text{ Ом}$.

5.2. Определить активные и реактивные проводимости ветвей g_i , b_i .

5.3. Определить активные и реактивные составляющие токов в ветвях I_{ai} , I_{pi} и тока в неразветвлённой части цепи I_a , I_p .

5.4. Вычислить полные токи в ветвях I_1 , I_2 и ток в неразветвлённой части цепи I .

5.5. Вычислить мощности P , Q , S в ветвях и всей цепи.

5.6. Выбрать масштабы по току и по напряжению. Построить треугольники токов.

5.7. Выбрать масштаб по мощности. Построить треугольник мощностей.

5.8. Определить $\cos \varphi$ и φ для каждой ветви и для всей цепи.

5.9. Найти максимальные значения токов. Записать формулы мгновенных значений напряжения u , общего тока i и токов в ветвях i_1 , i_2 , учитывая сдвиги фаз φ .

6. Требования к отчёту

6.1. Схему электрической цепи выполнять с применением чертёжных инструментов.

6.2. Вычисления начинать с записи расчётных формул в общем виде.

6.3. Размеры величин указывать в системе СИ.

7. Контрольные вопросы

7.1. Формулы активной и реактивной проводимостей.

7.2. Полная проводимость ветви.

7.3. Как определяются активные составляющие токов в ветвях?

7.4. Как определяются реактивные составляющие токов в ветвях?

7.5. Как находятся полные токи в ветвях по методу проводимостей?

7.6. Активная составляющая тока в неразветвлённой части цепи.

7.7. Реактивная составляющая тока в неразветвлённой части цепи.

7.8. Как можно определить углы сдвига фаз φ_1 и φ_2 между напряжениями и токами в ветвях?

7.9. Активная мощность (по методу проводимостей).

7.10. Реактивная мощность (по методу проводимостей).

РАСЧЁТ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА СИМВОЛИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

1. Цель работы

Приобретение практических навыков применения законов и методов расчёта электрических цепей постоянного тока к электрическим цепям переменного тока в символическом виде

2. Обеспечивающие средства

- 2.1. Методические указания по выполнению практической работы;
- 2.2. Калькуляторы.

3. Литература

- 3.1. Аполлонский С. М. Электротехника [Электронный ресурс]
- 3.2. Л.И.Фуфаева «Электротехника», §§ 10.1-10.2

4. Задание для расчета

Электрическая цепь, содержащая активные R и реактивные X элементы, соединённые по схеме, изображённой на рисунке 12.1, подключена к источнику синусоидального напряжения с действующим значением U .

Определить действующие значения токов I_1, I_2, I_3 ; напряжения на участках цепи U_1, U_2 и U_3 , потребляемые мощности: полную S , активную P и реактивную Q .

Записать уравнения мгновенных значений токов i_1, i_2, i_3 .

*Построить в масштабе векторную диаграмму напряжений и токов.

Данные для расчетов (по вариантам) взять из таблицы 13.1 ($X_L > 0$; $X_C < 0$).

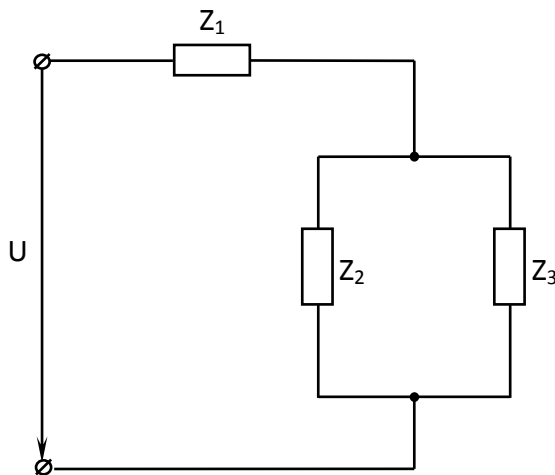


Рисунок 13.1

5. Технология работы

5.1. Изобразить схему цепи, учитывая характер реактивных сопротивлений X согласно данным своего варианта.

5.2. Определить комплексы полных сопротивлений ветвей.

5.3. Найти комплекс полного сопротивления параллельного участка $Z_{2,3}$ и комплекс полного сопротивления цепи Z .

5.4. Вычислить комплекс полного тока.

5.5. Найти комплексы напряжений на участках цепи U_1 и $U_{2,3}$.

5.6. Вычислить комплекс полной мощности цепи и определить P, Q, S .

5.7. Найти максимальные значения токов. Записать уравнения мгновенных значений токов i_1, i_2, i_3 ;

5.8. Выбрать масштабы по току и по напряжению. Построить векторную диаграмму напряжений и токов.

Таблица 13.1

Вариант	U, В	Z_1		Z_2		Z_3	
		$R_1, \text{ Ом}$	$X_1, \text{ Ом}$	$R_2, \text{ Ом}$	$X_2, \text{ Ом}$	$R_3, \text{ Ом}$	$X_3, \text{ Ом}$
1	200	40	40	25	12	7	-20
2	190	38	27	10	-24	10	18
3	180	36	-15	14	32	15	22
4	170	24	8	17	12	20	-8
5	160	20	18	12	-12	22	14
6	150	15	-21	15	-30	28	10
7	140	60	50	10	-15	31	-12
8	130	12	20	18	-25	30	15
9	120	24	18	20	7	14	-20
10	110	13	-18	22	16	41	-23
11	100	22	40	25	-25	15	24
12	90	24	12	23	-10	16	-12
13	80	10	-22	5	-5	15	10
14	70	12	21	7	-18	12	-12
15	60	16	-8	8	15	20	13

6. Требования к отчёту

- 6.1. Схему электрической цепи выполнять с применением чертёжных инструментов.
- 6.2. Вычисления начинать с записи расчётных формул в общем виде.
- 6.3. Размеры величин указывать в системе СИ.

7. Контрольные вопросы

- 7.1. Перечислите и запишите, в каких формах выражаются комплексные числа (КЧ).
- 7.2. Сложение и вычитание КЧ.
- 7.3. Умножение и деление КЧ.
- 7.4. Сделайте перевод КЧ из показательной формы в алгебраическую.
- 7.5. Сделайте перевод КЧ из алгебраической формы в показательную.
- 7.6. Закон Ома для участка цепи в комплексной форме.
- 7.7. Запишите формулу комплекса полного сопротивления в алгебраической и показательной форме.
- 7.8. Запишите формулу комплекса полной мощности в алгебраической и показательной форме.

РАСЧЁТ СЛОЖНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ СИМВОЛИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

1. Цель работы

Формирование практических навыков расчёта электрической цепи переменного тока методом двух узлов с применением комплексных чисел

2. Обеспечивающие средства

2.1. Методические указания по выполнению практической работы;

2.2. Калькуляторы.

3. Литература

3.1. Аполлонский С. М. Электротехника [Электронный ресурс]

3.2. Л.И.Фуфаева «Электротехника», §§ 9.2-9.5

4. Задание для расчета

Электрическая цепь, содержащая источники синусоидальных ЭДС, активные R и реактивные X элементы, состоит из трёх ветвей. Данные для расчетов (по вариантам) взять из таблицы 14.1 ($X_L > 0$; $X_C < 0$).

Определить действующие значения токов в ветвях I_1, I_2, I_3 .

Задачу решить символическим методом.

Записать уравнения мгновенных значений токов i_1, i_2, i_3 .

Построить на комплексной плоскости комплексы токов I_1, I_2, I_3 .

*Определить мощности, потребляемые нагрузкой: S, P и Q .

Таблица 14.1

Вар.	e, B	Z_1		Z_2		Z_3	
		$R_1, Ом$	$X_L, Ом$	$R_2, Ом$	$X_2, Ом$	$R_3, Ом$	$X_3, Ом$
1	$e_1=154 \cdot \sin(250t+10^0)$ $e_2=224 \cdot \sin(250t+120^0)$	12	16	15	- 20	14,1	14,1
2	$e_1=196 \cdot \sin 200t$ $e_3=140 \cdot \sin(200t-120^0)$	10	- 10	24	- 32	16	12
3	$e_2=168 \cdot \sin(314t-30^0)$ $e_3=210 \cdot \sin(314t-150^0)$	8	6	10	10	20	- 15
4	$e_1=224 \cdot \sin(300t+40^0)$ $e_3=140 \cdot \sin(300t+150^0)$	5	- 12	40	- 30	15	20
5	$e_1=182 \cdot \sin(628t-30^0)$ $e_2=154 \cdot \sin(628t-120^0)$	30	40	20	15	15	- 15
6	$e_2=140 \cdot \sin(400t+10^0)$ $e_3=238 \cdot \sin(400t+120^0)$	20	- 20	12	- 5	32	24
7	$e_1=224 \cdot \sin(250t+120^0)$ $e_2=154 \cdot \sin(250t+20^0)$	16	12	20	- 15	5	15
8	$e_1=140 \cdot \sin(200t-120^0)$ $e_3=196 \cdot \sin(200t-30^0)$	10	- 10	32	- 24	12	16
9	$e_2=210 \cdot \sin(314t-150^0)$ $e_3=168 \cdot \sin(314t-60^0)$	30	40	10	10	20	- 15
10	$e_1=140 \cdot \sin(300t+150^0)$ $e_3=224 \cdot \sin(300t+70^0)$	12	- 5	30	- 40	20	15
11	$e_1=154 \cdot \sin(628t-120^0)$ $e_2=182 \cdot \sin(628t-45^0)$	15	15	15	20	30	- 40
12	$e_2=238 \cdot \sin(400t+120^0)$ $e_3=140 \cdot \sin(400t+50^0)$	10	- 24	20	- 20	24	32

5. Технология работы

- 5.1. Изобразить схему цепи, учитывая характер реактивных сопротивлений X согласно данным своего варианта.
- 5.2. Определить комплексы ЭДС.
- 5.3. Определить комплексы полных сопротивлений ветвей.
- 5.4. Вычислить комплексы полных проводимостей.
- 5.5. Найти комплекс узлового напряжения U_{AB} .
- 5.6. Вычислить комплексы токов в ветвях.
- 5.7. Найти максимальные значения токов. Записать уравнения мгновенных значений токов i_1, i_2, i_3 .
- 5.8. Выбрать масштаб по току. Построить на комплексной плоскости комплексы токов.
- 5.9. Вычислить комплексы напряжений на сопротивлениях в каждой ветви. Определить комплексы полных мощностей, потребляемых нагрузкой каждой ветви, и комплекс полной мощности всей нагрузки. Найти мощности всей нагрузки: S, P, Q .

6. Требования к отчёту

- 6.1. Вычисления начинать с записи формул в общем виде.
- 6.2. Использовать принятые обозначения комплексов.
- 6.3. Указывать промежуточные результаты преобразования комплексных чисел.

7. Контрольные вопросы

- 7.1. Элементы алгебраической формы комплексных чисел (КЧ).
- 7.2. Элементы показательной формы КЧ.
- 7.3. Перевод КЧ из алгебраической формы в показательную.
- 7.4. Перевод КЧ из показательной формы в алгебраическую.
- 7.5. Закон Ома для участка цепи в комплексной форме.
- 7.6. Комплекс полного сопротивления.
- 7.7. Комплекс полной проводимости.
- 7.8. Комплекс полной мощности.
- 7.9. Первый закон Кирхгофа в символическом виде.
- 7.10. Второй закон Кирхгофа в символическом виде.

РАСЧЁТ НЕСИММЕТРИЧНОГО РЕЖИМА ТРЁХФАЗНОЙ ЦЕПИ, СОЕДИНЁННОЙ ЗВЕЗДОЙ, С НЕЙТРАЛЬНЫМ ПРОВОДОМ

1. Цели работы

- 1.1. Приобретение практических навыков расчета трехфазной электрической цепи, соединённой звездой, при несимметричной нагрузке
- 1.2. Приобретение практических навыков построения векторных диаграмм

2. Обеспечивающие средства

- 2.1. Методические указания по выполнению практической работы;
- 2.2. Калькуляторы;
- 2.3. Чертёжные инструменты

3. Литература

- 3.1. Аполлонский С. М. Электротехника [Электронный ресурс]
- 3.2. Л.И.Фуфаева «Электротехника», §§ 11.2

4. Задание

Трёхфазная нагрузка соединена звездой по четырёхпроводной схеме с нейтральным проводом мало ($Z_N \rightarrow 0$). Данные своего варианта взять из таблицы 15.1 ($X_L > 0$; $X_C < 0$).

Определить фазные напряжения на приемниках энергии U'_A, U'_B, U'_C и фазные токи I_A, I_B, I_C , а также мощность, потребляемую нагрузкой S, P, Q . Задачу решить комплексным методом.

Построить в масштабе векторную диаграмму напряжений и токов.

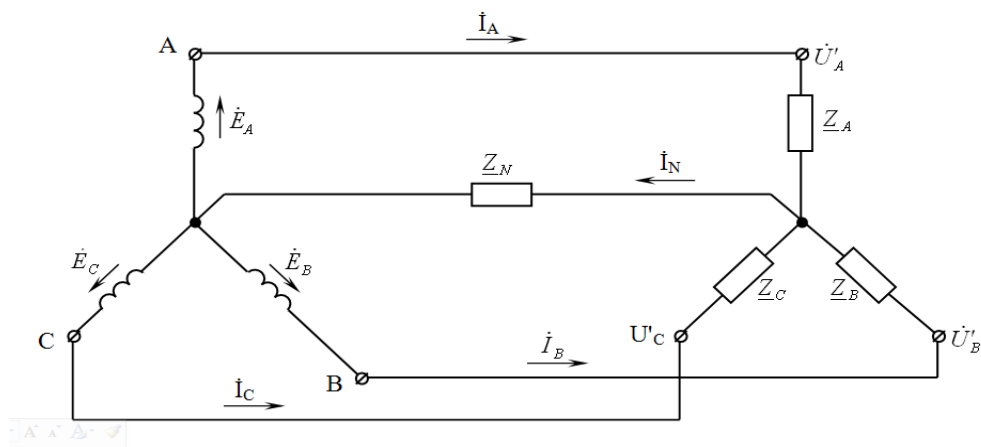


Рисунок 15.1. Трёхфазная цепь, соединённая звездой

5. Технология работы

- 5.1. Изобразить схему трёхфазной нагрузки, соединённой звездой, в соответствии с данными своего варианта.
- 5.2. Составить комплексы фазных напряжений генератора U_A, U_B, U_C .
- 5.3. Определить комплексы полных сопротивлений фаз Z_A, Z_B, Z_C .
- 5.4. Определить комплексы напряжений на фазах приёмника U'_A, U'_B, U'_C .
- 5.5. Найти по закону Ома фазные токи I_A, I_B, I_C .
- 5.6. Найти по первому закону Кирхгофа ток в нейтральном проводе I_N .
- 5.7. Вычислить комплексы полной мощности в фазах приёмника и комплекс полной мощности всей нагрузки.
- 5.8. Выбрать масштаб по напряжению. Построить векторную диаграмму фазных напряжений генератора (они же и фазные напряжения приёмника U'_A, U'_B, U'_C). Выбрать масштаб по току, построить векторы фазных токов и тока I_N .

Таблица 15.1

Вариант	U_L	Нагрузка фазы «А»		Нагрузка фазы «В»		Нагрузка фазы «С»	
		R_A	X_A	R_B	X_B	R_C	X_C
	В	Ом	Ом	Ом	Ом	Ом	Ом
1	190	14,9	41,4	20	----	40	- 30
2	380	30	40	33	- 44	80	---
3	220	40	----	80	60	30,4	26
4	190	20,5	- 8	20	15	50	---
5	228	100	---	38,4	21,5	70,7	- 70,7
6	346	80	60	100	----	24	- 32
7	380	41,4	14,9	100	----	29,6	82,8
8	190	20	- 15	44	- 33	40	---
9	220	40	----	80	- 60	26	30,4
10	190	8	- 20,5	40	- 30	60	---
11	228	50	---	21,5	38,4	70,7	- 70,7
12	346	48	- 64	50	----	32	- 24
13	346	41,4	14,9	100	----	40	30
14	173	38,4	21,5	40	- 30	50	---
15	220	40	- 30	20	---	16	12

6. Требования к отчёту

- 6.1. Схему электрической цепи выполнять с применением чертёжных инструментов.
- 6.2. Вычисления начинать с записи расчётных формул в общем виде.
- 6.3. Размеры величин указывать в системе СИ.

7. Контрольные вопросы

- 7.1. Что понимают под фазным напряжением?
- 7.2. Что понимают под линейным напряжением?
- 7.3. При каких условиях в трёхфазной цепи, соединённой звездой, появляется напряжение смещения нейтрали?
- 7.4. От чего зависит величина напряжения смещения нейтрали?
- 7.5. Что такое «перекос фаз»?
- 7.6. Каково назначение нейтрального провода?
- 7.7. Как определяются напряжения на фазах приемника энергии при наличии напряжения смещения нейтрали?
- 7.8. Как определяются фазные токи?
- 7.9. Как определяется ток в нейтральном проводе?
- 7.10. Как определяются линейные токи?

РАСЧЁТ НЕСИММЕТРИЧНОГО РЕЖИМА ТРЁХФАЗНОЙ ЦЕПИ, СОЕДИНЁННОЙ ЗВЕЗДОЙ, БЕЗ НЕЙТРАЛЬНОГО ПРОВОДА

1. Цели работы

- 1.1. Приобретение практических навыков расчета трехфазной электрической цепи, соединённой звездой, при несимметричной нагрузке
- 1.2. Приобретение практических навыков построения векторных диаграмм

2. Обеспечивающие средства

- 2.1. Методические указания по выполнению практической работы;
- 2.2. Калькуляторы;
- 2.3. Чертёжные инструменты

3. Литература

- 3.1. Аполлонский С. М. Электротехника [Электронный ресурс]
- 3.2. Л.И.Фуфаева «Электротехника», §§ 11.2

4. Задание

Трёхфазная нагрузка соединена звездой по трёхпроводной схеме без нейтрального провода ($Z_N \rightarrow \infty$). Данные своего варианта взять из таблицы 16.1 ($X_L > 0$; $X_C < 0$).

Определить напряжение смещения нейтрали U_N , фазные напряжения в приемниках энергии U'_A, U'_B, U'_C и фазные токи I_A, I_B, I_C , а также мощность, потребляемую нагрузкой S, P, Q . Задачу решить комплексным методом.

Построить в масштабе векторную диаграмму напряжений и токов.

Таблица 16.1

Вариант	U_L	Нагрузка фазы «А»		Нагрузка фазы «В»		Нагрузка фазы «С»	
		R_A	X_A	R_B	X_B	R_C	X_C
		Ом	Ом	Ом	Ом	Ом	Ом
1	190	14,9	41,4	20	----	40	- 30
2	380	30	40	33	- 44	80	---
3	220	40	----	80	60	30,4	26
4	190	20,5	- 8	20	15	50	---
5	228	100	---	38,4	21,5	70,7	- 70,7
6	346	80	60	100	----	24	- 32
7	380	41,4	14,9	100	----	29,6	82,8
8	190	20	- 15	44	- 33	40	---
9	220	40	----	80	- 60	26	30,4
10	190	8	- 20,5	40	- 30	60	---
11	228	50	---	21,5	38,4	70,7	- 70,7
12	346	48	- 64	50	----	32	- 24
13	346	41,4	14,9	100	----	40	30
14	173	38,4	21,5	40	- 30	50	---
15	220	40	- 30	20	---	16	12

5. Технология работы

- 5.1. Изобразить схему трёхфазной нагрузки, соединённой звездой, в соответствии с данными своего варианта.

- 5.2. Составить комплексы фазных напряжений генератора U_A, U_B, U_C .
- 5.3. Определить комплексы полных сопротивлений фаз Z_A, Z_B, Z_C и комплексы полных проводимостей фаз Y_A, Y_B, Y_C .
- 5.4. Определить комплекс напряжения смещения нейтрали U_N методом узлового напряжения.
- 5.5. Найти комплексы напряжений на фазах приёмника U'_A, U'_B, U'_C по второму закону Кирхгофа $U'_A = U_A - U_N$.
- 5.6. По закону Ома определить комплексы фазных токов $I_A = U'_A \cdot Y_A$.
- 5.7. Выбрать масштаб по напряжению. Построить векторную диаграмму фазных напряжений генератора, вектор напряжения смещения нейтрали U_N . Построить векторы напряжений на фазах приёмника U'_A, U'_B, U'_C по второму закону Кирхгофа.
- 5.8. Выбрать масштаб по току, построить векторы фазных токов.

6. Требования к отчёту

- 6.1. Схему электрической цепи выполнять с применением чертёжных инструментов.
- 6.2. Вычисления начинать с записи расчётных формул в общем виде.
- 6.3. Размеры величин указывать в системе СИ.

7. Контрольные вопросы

- 7.1. Что понимают под фазным напряжением?
- 7.2. Что понимают под линейным напряжением?
- 7.3. При каких условиях в трёхфазной цепи, соединённой звездой, появляется напряжение смещения нейтрали?
- 7.4. От чего зависит величина напряжения смещения нейтрали?
- 7.5. Что такое «перекос фаз»?
- 7.6. Каково назначение нейтрального провода?
- 7.7. Как определяются напряжения на фазах приемника энергии при наличии напряжения смещения нейтрали?
- 7.8. Как определяются фазные токи?
- 7.9. Как определяется ток в нейтральном проводе?
- 7.10. Как определяются линейные токи?

РАСЧЁТ НЕСИММЕТРИЧНОГО РЕЖИМА ТРЁХФАЗНОЙ ЦЕПИ, СОЕДИНЁННОЙ ТРЕУГОЛЬНИКОМ

1. Цели работы

1.1. Приобретение практических навыков расчета и анализа работы трехфазной электрической цепи при несимметричной нагрузке, соединённой треугольником.

1.2. Приобретение практических навыков построения векторных диаграмм

2. Обеспечивающие средства

2.1. Методические указания по выполнению практической работы;

2.2. Калькуляторы;

2.3. Чертёжные инструменты

3. Литература

3.1. Аполлонский С. М. Электротехника [Электронный ресурс]

3.2. Л.И.Фуфаева «Электротехника», §§ 11.3

4. Задание

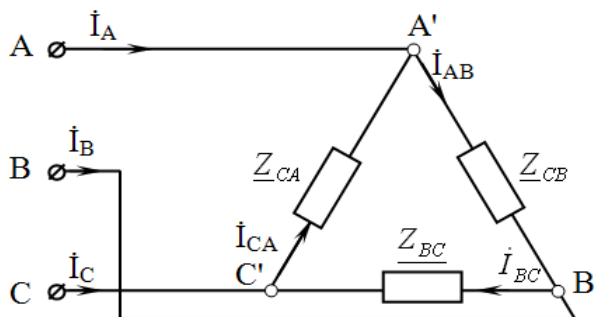


Рисунок 17.1 Трёхфазная нагрузка, соединённая треугольником

Несимметричная трехфазная нагрузка соединена треугольником. Данные своего варианта взять из таблицы 14.1 ($X_L > 0$; $X_C < 0$).

Определить фазные напряжения на приемниках энергии U_{AB}, U_{BC}, U_{CA} , фазные токи I_{AB}, I_{BC}, I_{CA} , линейные токи I_A, I_B, I_C ; мощности, потребляемые каждой фазой приёмника, и мощность всей цепи (активную, реактивную и полную).

Построить в масштабе векторную диаграмму напряжений и токов.

* Определить фазные и линейные токи в тех же приемниках энергии при условии обрыва линейного провода В.

5. Технология работы

5.1. Изобразить схему трёхфазной нагрузки, соединенной треугольником, в соответствии с данными своего варианта.

5.2. Вычислить значение фазного напряжения U_{ϕ} .

5.3. Составить комплексы фазных напряжений генератора U_{AB}, U_{BC}, U_{CA} .

5.4. Определить комплексы полных сопротивлений фаз Z_{AB}, Z_{BC}, Z_{CA} .

5.5. Вычислить по закону Ома комплексы фазных токов I_{AB}, I_{BC}, I_{CA} .

5.6. Определить по первому закону Кирхгофа комплексы линейных токов I_A, I_B, I_C .

5.6. Выбрать масштаб по напряжению. Построить векторную диаграмму фазных напряжений генератора.

5.7. Вычислить комплексы полных мощностей для каждой фазы.

5.8. Найти комплекс полной мощности для всей цепи.

5.9. Выбрать масштаб по напряжению. Построить векторную диаграмму фазных напряжений U_{AB}, U_{BC}, U_{CA} . Выбрать масштаб по току, построить векторы фазных токов I_{AB}, I_{BC}, I_{CA} . Графически по первому закону Кирхгофа найти линейные токи I_A, I_B, I_C . Сравнить положение векторов линейных токов с расчётными значениями.

Таблица 17.1

Вариант	U_L	R_{AB}	R_{BC}	R_{CA}	X_{AB}	X_{BC}	X_{CA}
	B	OM	OM	OM	OM	OM	OM
1	200	15	7	48	- 20	24	- 14
2	220	33	24	12,8	- 44	49,5	17,9
3	200	15,2	16	17,2	13	- 12	10,2
4	110	8	41	14	- 20,5	- 14,9	48
5	150	20	30	14,1	15	40	- 14,1
6	350	30	14	96	- 40	48	- 28
7	330	15	49,5	17,9	8	24	- 12,8
8	240	85	40	97,5	- 85	- 113	70
9	250	20	24	14	15	- 7	48
10	350	44	49,5	17,9	33	- 24	- 12,8
11	150	30	24	36	40	43,9	- 34,7
12	180	24	30	13	- 32	40	15,2
13	200	12	20	15,2	16	- 15	- 13
14	380	70,7	80	40	- 70,7	60	- 30
15	400	30,4	20	32	39,7	- 15	24

6. Требования к отчёту

- 6.1. Схему электрической цепи выполнять с применением чертёжных инструментов.
- 6.2. Вычисления начинать с записи расчётных формул в общем виде.
- 6.3. Размеры величин указывать в системе СИ.

7. Контрольные вопросы

- 7.1. Что понимают под симметричной системой ЭДС?
- 7.2. Что понимают под симметричной нагрузкой?
- 7.3. Записать соотношение фазных и линейных напряжений при соединении приемников энергии треугольником.
- 7.4. Как определяются фазные токи при симметричной нагрузке, соединённой треугольником?
- 7.5. Как определяются линейные токи при симметричной нагрузке, соединённой треугольником?
- 7.6. Как определяются фазные токи при несимметричной нагрузке, соединённой треугольником?
- 7.7. Как определяются линейные токи при несимметричной нагрузке, соединённой треугольником?
- 7.8. Как определяется полная мощность несимметричной нагрузки, соединённой треугольником?
- 7.9. Как влияет на режим работы симметричной нагрузки, соединённой треугольником, обрыв одной из фаз (например «BC»)?
- 7.10. Как влияет на режим работы симметричной нагрузки, соединённой треугольником, обрыв линейного провода (например «B»)?

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 18
2 часа
УРОК-КОНКУРС
ПО РАЗДЕЛУ «ТРЕХФАЗНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ»

1. Цели работы

- 1.1. Систематизация знаний по разделу «Трёхфазные электрические цепи»

2. Обеспечивающие средства

- 2.1. Компьютер;
2.2. Электронная презентация;
2.3. Калькуляторы

3. Литература

- 3.1. Аполлонский С. М. Электротехника [Электронный ресурс]
3.2. Л.И.Фуфаева «Электротехника», §§ 11.2-11.3

4. Задание

- 4.1. Сформировать команды по 4 человека.
4.2. Выполнить задания преподавателя.

5. Технология работы

- 5.1. Задания преподавателя выполнять, работая в микрогруппах, в той форме, какая будет указана преподавателем.
5.2. По результатам проверки каждого задания команда получает оценку.
5.3. Итоговая оценка за урок выводится как среднее арифметическое значение всех полученных оценок.
5.4. Все члены команды получают одинаковую оценку.

6. Требования к работе

- 6.1. Соблюдать регламент.
6.2. Выполнять текущие указания преподавателя.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 19

2 часа

РАСЧЁТ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ С НЕСИНУСОИДАЛЬНЫМ ПЕРИОДИЧЕСКИМ НАПРЯЖЕНИЕМ

1. Цель работы

Приобретение практических навыков расчета электрических цепей с несинусоидальным периодическим напряжением

2. Обеспечивающие средства

- 2.1. Методические указания по выполнению практической работы;
- 2.2. Калькуляторы

3. Литература

- 3.1. Аполлонский С. М. Электротехника [Электронный ресурс]
- 3.2. Л.И.Фуфаева «Электротехника», §§ 9.1-9.5

4. Задание

К электрической цепи с последовательным соединением элементов приложено несинусоидальное периодическое напряжение u .

Исходные данные заданы в таблице 19.1. Частота f и значения реактивных сопротивлений X_L и X_C даны для первой гармоники.

Определить спектральный состав и действующие значения несинусоидального напряжения U и тока I , коэффициент искажения по напряжению K_{Iv} . Записать формулу мгновенных значений несинусоидального тока $i = f(t)$;

* Определить полную мощность S и активную P , коэффициент мощности χ .

Таблица 19.1

Вариант	R	X_L	X_C	Уравнение мгновенных значений напряжения	f
1	20,5	8	-	$u=36 + 90 \cdot \sin(\omega t - 15^\circ) + 59 \cdot \sin(2\omega t - 62^\circ) + 44 \cdot \sin 4\omega t$	50
2	18,4	-	21,5	$u=185 \cdot \sin(\omega t + 21^\circ) + 93 \cdot \sin(3\omega t - 62^\circ) + 60 \cdot \sin 5\omega t$	40
3	120	30	-	$u=70 + 216 \cdot \sin \omega t + 140 \cdot \sin(3\omega t + 58^\circ) + 54 \cdot \sin 5\omega t$	100
4	12	-	24	$u=56 \cdot \sin(\omega t + 35^\circ) + 29 \cdot \sin(3\omega t - 62^\circ) + 14 \cdot \sin 4\omega t$	200
5	42	13,1	-	$u=21 + 104 \cdot \sin(\omega t - 74^\circ) + 70 \cdot \sin 2\omega t + 45 \cdot \sin(5\omega t + 18^\circ)$	80
6	8	-	36	$u=72 \cdot \sin(\omega t - 90^\circ) + 48 \cdot \sin(3\omega t - 120^\circ) + 17,6 \cdot \sin 6\omega t$	25
7	24	12	-	$u=60 + 108 \cdot \sin(\omega t + 150^\circ) + 42 \cdot \sin 3\omega t + 19 \cdot \sin(4\omega t - 34^\circ)$	50
8	13,1	-	42	$u=316 \cdot \sin(\omega t - 45^\circ) + 108 \cdot \sin 3\omega t + 65 \cdot \sin(5\omega t + 180^\circ)$	100
9	21,5	18,5	-	$u=50 + 245 \cdot \sin(\omega t + 65^\circ) + 164 \cdot \sin(2\omega t + 32^\circ) + 87 \cdot \sin 4\omega t$	150
10	7,6	-	30	$u=188 \cdot \sin(\omega t + 58^\circ) + 98 \cdot \sin 3\omega t + 34 \cdot \sin(6\omega t + 135^\circ)$	200
11	32	16	-	$u=90 + 282 \cdot \sin \omega t + 119 \cdot \sin(2\omega t - 90^\circ) + 84 \cdot \sin(3\omega t - 10^\circ)$	40
12	10,2	-	36	$u=168 \cdot \sin \omega t + 95 \cdot \sin(3\omega t - 12^\circ) + 36 \cdot \sin 4\omega t$	50
13	20	15	-	$u=25 + 70 \cdot \sin(\omega t - 105^\circ) + 46 \cdot \sin(2\omega t - 54^\circ) + 28 \cdot \sin 5\omega t$	20
14	26,2	-	84	$u=186 \cdot \sin(\omega t - 90^\circ) + 154 \cdot \sin(3\omega t - 18^\circ) + 53 \cdot \sin 4\omega t$	100
15	22,8	7,9	-	$u=164 \cdot \sin(\omega t - 26^\circ) + 106 \cdot \sin 3\omega t + 57 \cdot \sin(4\omega t + 30^\circ)$	60

5. Технология работы

- 5.1. Изобразить схему электрической цепи в соответствии с данными своего варианта.
- 5.2. Определить спектральный состав входного напряжения, учитывая кратность частот высших гармоник. Записать в краткой форме.
- 5.3. Вычислить действующие значения гармонических составляющих напряжения U_i .

5.4. Определить действующее значения входного напряжения U и коэффициент искажения по напряжению K_{Iv} .

5.5. Вычислить значение реактивных X_i и полных сопротивлений Z_i для каждой гармоники.

5.6. Определить постоянную составляющую тока I_0 , действующие значения гармонических составляющих токов I_i и действующее значения несинусоидального тока I .

5.6. Вычислить значение коэффициента мощности $\cos\varphi$ для каждой гармоники.

5.7. Определить сдвиг фаз φ между напряжением и током для каждой гармоники.

5.8. Найти максимальное значение тока для каждой гармоники I_{Mi} .

5.9. Записать формулы мгновенных значений гармонических составляющих токов i_i .

5.10. Записать формулу мгновенных значений несинусоидального тока $i = f(t)$.

5.11. Найти мощность постоянной составляющей P_0 , активную мощность P_i гармонических составляющих и активную мощность входного сигнала P .

5.12. Вычислить полную мощность S и коэффициент мощности χ .

6. Требования к отчёту

6.1. Схему электрической цепи выполнять с применением чертёжных инструментов.

6.2. Вычисления начинать с записи расчётных формул в общем виде.

6.3. Размеры величин указывать в системе СИ.

7. Контрольные вопросы

7.1. Теорема Фурье.

7.2. Действующее значение несинусоидального тока (формула).

7.3. Коэффициент искажения несинусоидального тока.

7.4. Коэффициент гармоник (нелинейных искажений) несинусоидального тока.

7.5. Зависимость индуктивного сопротивления от частоты гармонических составляющих.

7.6. Зависимость ёмкостного сопротивления от частоты гармонических составляющих.

7.7. Полная мощность S несинусоидального сигнала.

7.8. Коэффициент мощности χ несинусоидального сигнала.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 20

2 часа

РАСЧЁТ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В ЦЕПЯХ ПОСТОЯННОГО ТОКА

1. Цели работы

1.1. Приобретение практических навыков расчета переходных процессов в цепи постоянного тока с катушкой индуктивности и с конденсатором.

1.2. Приобретение практических навыков построения графиков переходных процессов.

2. Обеспечивающие средства

2.1. Методические указания по выполнению практической работы;

2.2. Калькуляторы;

2.3. Чертёжные инструменты

3. Литература

3.1. Аполлонский С. М. Электротехника [Электронный ресурс]

3.2. Л.И.Фуфаева «Электротехника», §§ 12.1, 12.4

4. Задание

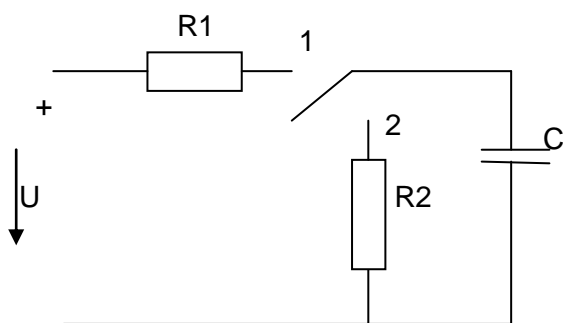


Рисунок 20.1

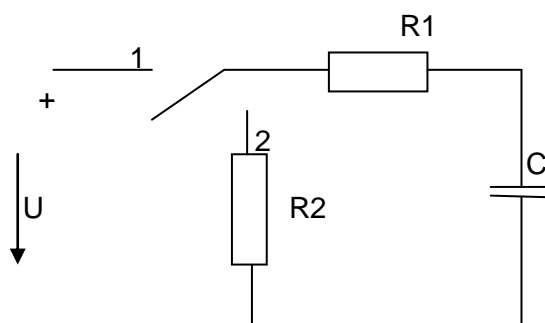


Рисунок 20.2

Двухпозиционный ключ замыкают в положение 1. Через время $t_1 = 2\tau_1$ осуществляется переключение ключа в положение 2. Данные своего варианта взять из таблицы 20.1.

Определить законы изменения напряжения на конденсаторе при зарядке в течение указанного времени $u_{Cзар} = f_1(t)$ и при разрядке $u_{Cразр} = f_2(t)$ в течение времени $t_2 = 5\tau_2$.

Построить графики изменения напряжений $u_{Cзар} = f_1(t)$, $u_{Cразр} = f_2(t)$.

*Определить законы изменения зарядного $i_{зар}$ и разрядного $i_{разр}$ токов. Построить графики изменения токов $i_{зар}$, $i_{разр}$.

5. Технология работы

5.1. Изобразить схему электрической цепи в соответствии с данными своего варианта.

5.2. Рассмотреть переходный процесс при замыкании ключа в положение 1 (зарядка конденсатора), записать в общем виде закон изменения напряжения на конденсаторе (2-й закон коммутации) при зарядке.

5.3. Вычислить установившееся значение напряжения на конденсаторе.

5.4. Привести формулу свободной составляющей напряжения на конденсаторе в общем виде, определить параметры свободной составляющей напряжения:

- постоянную времени τ_1 ;

- постоянную K из начальных условий при $t=0$.

5.5. Записать формулу изменения напряжения на конденсаторе при зарядке с найденными параметрами $u_{Cзар} = f_1(t)$.

5.6. *Определить формулу изменения зарядного тока $i_{зар}$.

- 5.7. Построить в масштабе график изменения напряжения на конденсаторе $u_{Cзар} = f_1(t)$.
- 5.8. *Построить в масштабе график зарядного тока $i_{зар}$.
- 5.9. Аналогичным образом (как и п.п.5.2-5.8) рассмотреть переходный процесс при разрядке конденсатора, определить формулу изменения напряжения на конденсаторе при его разрядке $u_{Cразр} = f_2(t)$ и *формулу изменения разрядного тока $i_{разр}$.
- 5.10. Построить графики $u_{Cразр}$, $i_{разр}$ за время $t_{разр} = 5\tau_2$, используя одну временную ось с графиками, отображающими процесс зарядки конденсатора.

Таблица 20.1

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
№ рисунка	20.1	20.2	20.1	20.2	20.1	20.2	20.1	20.2	20.1	20.2	20.1	20.2
$U, В$	100	360	300	400	240	150	150	300	400	160	500	600
$R_1, кОм$	40	60	15	80	20	30	50	50	80	20	100	150
$R_2, кОм$	20	30	10	20	12	10	20	25	60	10	40	50
$C, мкФ$	50	100	200	150	100	50	60	40	50	300	40	20

6. Требования к отчёту

- 6.1. Схему электрической цепи изображать с применением чертёжных инструментов.
- 6.2. Вычисления начинать с записи расчётных формул в общем виде.
- 6.3. Размеры величин указывать в системе СИ.

7. Контрольные вопросы

- 7.1. Понятие коммутации.
- 7.2. Понятие переходного режима.
- 7.3. Первый закон коммутации.
- 7.4. Второй закон коммутации.
- 7.5. Установившееся значение.
- 7.6. Свободная составляющая.
- 7.7. Постоянная времени в цепи с индуктивностью.
- 7.8. Постоянная времени в цепи с ёмкостью.
- 7.9. Начальные условия в цепи с индуктивностью.
- 7.10. Начальные условия в цепи с ёмкостью.

Используемые источники

Основная литература:

1. Аполлонский С. М. Электротехника [Электронный ресурс] : учебник / С. М. Аполлонский. – М. : КноРус, 2018. — 292 с. – (Среднее профессиональное образование). – Режим доступа : <https://www.book.ru/book/928016>
2. Аполлонский С.М. Электротехника. Практикум [Электронный ресурс] : практикум / С. М. Аполлонский. – М. : КноРус, 2018. – 318 с. – (Среднее профессиональное образование). – Режим доступа : <https://www.book.ru/book/927853>
3. Мартынова И. О. Электротехника [Электронный ресурс] : учебник / И. О. Мартынова. – М. : КноРус, 2019. — 304 с. – (Среднее профессиональное образование). – Режим доступа : <https://www.book.ru/book/930233>

Дополнительная литература:

1. Фуфаева, Л.И. Электротехника : учебник для студ. учреждений сред. проф. образования / Л.И.Фуфаева. – Москва : Академия, 2015. – 384 с.
2. Прошин, В.М. Электротехника для неэлектротехнических профессий : учебник для студ. учреждений сред. проф. образования / В.М.Прошин. – М. : Издательский центр «Академия», 2014. – 464 с.

Интернет-ресурсы:

1. Усольцев, А.А. Лекция по электротехнике / А.А.Усольцев [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.youtube.com/watch?v=-NKZNUUzR-Q> (дата обращения : 18.08.2018).
2. Конденсатор в цепи переменного тока / [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.youtube.com/watch?v=sCdYxwld3aA> (дата обращения : 21.08.2018).
3. Закон Ома простыми словами / [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.youtube.com/watch?v=ZB-YvMrKS44> (дата обращения : 28.08.2018).

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Характеристики намагничивания сталей

<i>B, Тл</i>	<i>H, А/м, для стали марок</i>		
	<i>1211, 1212, 1311</i>	<i>1511, 1512</i>	<i>Литая сталь</i>
0,10	-	40	80
0,20	-	50	160
0,30	-	60	240
0,40	140	70	320
0,45	152	75	360
0,50	171	85	400
0,55	191	94	443
0,60	211	110	448
0,65	236	127	535
0,70	261	145	584
0,75	287	165	632
0,80	318	185	682
0,85	352	210	745
0,90	397	235	798
0,95	447	270	850
1,00	502	300	920
1,05	570	340	1004
1,10	647	395	1090
1,15	739	460	1187
1,20	840	540	1290
1,25	976	640	1430
1,30	1140	770	1590
1,35	1340	970	1810
1,40	1580	1300	2090
1,45	1950	1830	2440
1,50	2500	2750	2890
1,55	3280	3850	3430
1,60	4370	5150	4100
1,65	5880	6950	4870
1,70	7780	8900	5750